# Die chemische Natur der Minengase und ihre Beziehung zur Minenkrankheit.

Für Ingenieur- und Artillerie-Officiere und Aerzte.

Von

Dr. Theodor Poleck.

Mit einem Tableau und drei lithographirten Tafeln.

Berlin, 1867.
Ernst Siegfried Mittler & Sohn.
Königliche Hofbuchhandlung.

Separat-Abdruck

aus dem 15. Jahresbericht der philomathischen Gesellschaft
in Neisse.

Seinem

**theuren Vater**

dem Stadtältesten und Apotheker

Herrn August Poleck

in

kindlicher Liebe und Dankbarkeit

gewidmet

vom

**Verfasser.**

# Inhalt.

Zu den in bestimmten Zeiträumen wiederkehrenden umfangreichen militärischen Uebungen in Preußen gehören die großen Belagerungsübungen, bei denen gewöhnlich die Pioniere und die Festungs-Artillerie mehrerer Armee-Corps zu gemeinsamer Thätigkeit vereinigt werden. Diese Uebungen sollen einerseits den betheiligten Truppen ein anschauliches Bild des Festungskriegs bieten, andererseits aber zu gleicher Zeit die Erörterung aller auf den Festungskrieg bezüglichen interessanten Fragen in sich schließen und wichtige Probleme ihrer Lösung näher führen. Zur Erreichung dieses Zwecks sind während der Uebung besondere Commissionen, Versuchs-Commissionen, thätig, denen alle auf den Festungskrieg bezüglichen Denkschriften, Vorschläge ꝛc. zur Begutachtung und experimentellen Prüfung zugehen, welche entweder sofort oder während einer der nächsten Uebungen erfolgt.

Die während der großen Belagerungsübung zu Neisse in den Monaten August und September 1865 unter dem Vorsitz des Oberst Clausius tagende Versuchs-Commission hatte in den Bereich ihrer Thätigkeit auch die Untersuchung der sogenannten Minenkrankheit gezogen, über welche bis jetzt eine nur spärliche Literatur vorlag und

über deren Ursachen und Verhütung die Ansichten weit aus einander gingen. Da diese Krankheit oft bis 60 pC. der vorhandenen Arbeitskräfte und nicht selten alle in einer Mine beschäftigten Arbeiter ergreift und augenblicklich und oft für längere Zeit arbeitsunfähig macht; so war es nur natürlich, daß man von militärischer Seite alle Vorschläge zur Beseitigung so verhängnißvoller Uebelstände mit großem Interesse entgegen nahm und, wenn irgend möglich, einer sofortigen Prüfung unterwarf. Außer den, bereits im Jahre 1861 und 1862 in der militärärztlichen Zeitung veröffentlichten Beobachtungen von Josephson[1]) und Rawitz[2]) lagen der Versuchs-Commission in Neisse noch einige andere, die Minenkrankheit betreffende Berichte vor. Durch vielfache frühere Discussionen dieses Gegenstandes mit Officieren des Ingenieur-Corps war ich im Allgemeinen orientirt und so gewann ich bei Durchsicht dieser Berichte sehr bald die Ueberzeugung, daß man auf dem Wege des Experiments der Ursache der Minenkrankheit noch nicht nahe getreten sei. Ebenso wenig konnte ich in der reichen mir zu Gebot stehenden chemischen Literatur eine Arbeit über die Zusammensetzung der Minengase auffinden, noch war eine solche in dem eben erschienenen Werke von Eulenberg[3]), „Die Lehre von den schädlichen und giftigen Gasen" in dem Artikel über Minenkrankheit vorhanden oder citirt, so daß ich es als völlig gewiß ansehen konnte, daß man die Lösung des Problems der Aetiologie der Minenkrankheit auf dem Wege des Experiments noch nicht versucht habe. Ueberall waren nur Ansichten und Vermuthungen ausgesprochen und diesen entsprechende Vorschläge gemacht, analytische Beläge für die Zusammensetzung und die chemische Natur der Minengase aber bisher von keiner Seite beigebracht worden. Es liegt aber auf der Hand, daß rationelle Vorschläge zur Verhütung der Minenkrankheit so lange nicht möglich waren, als die chemische Zusammensetzung der nach der Explosion der Minen im Erdreich zurückbleibenden und in den Minengallerien sich verbreitenden Gase unbekannt war.

Unter solchen Umständen ergriff ich gern die sich mir darbietende überaus günstige Gelegenheit, mich während der großen Belagerungs-

---

1) Preußische militärärztliche Zeitung, 1861. Nr. 1 S. 12.

2) Ebendaselbst 1862 Nr. 11.

3) Eulenberg, die Lehre von den schädlichen und giftigen Gasen. Braunschweig, bei Vieweg und Sohn. 1865. S. 114 und S. 129.

Uebung durch die chemische Untersuchung der Minengase an der Lösung dieses Problems zu betheiligen, um so mehr als ich in Besitz eines für Gas-Analysen vollständig eingerichteten Laboratoriums war. Die Erlaubniß dazu wurde von dem Inspecteur der 2. Ingenieur-Inspection, General von Schweinitz, nicht blos in der zuvorkommensten Weise ertheilt, sondern auch von demselben alle Anordnungen getroffen, welche den Fortgang der Arbeit sichern mußten. Sein lebhaftes Interesse für diese Untersuchung sprach sich namentlich in der Bereitwilligkeit aus, mit welcher er sofort auf die von mir beantragte Sprengung einer eigends zum Zweck dieser Untersuchung angelegten Versuchs-Quetschmine einging. Ihre Anlage und das Sammeln der Gase während des Minenkriegs geschah in den Gallerien der Vertheidigung, welche von Hauptmann von Hirsch geleitet wurde, und wurde ich dabei sowohl von ihm wie von den übrigen zur Vertheidigung commandirten Offizieren auf das Freundlichste unterstützt, sowie ich mich bei der späteren Verarbeitung des Beobachtungs-Materials in Beziehung auf Minenverhältnisse des beständigen Raths des Ingenieur vom Platz, Oberst Röhmer, zu erfreuen hatte. Die officiellen Quellen waren mir, so weit dieß zulässig war, zugänglich. Ihnen verdanke ich den Plan-Directeur des Minenkriegs, welcher bei Gelegenheit einer Vorlesung Seitens eines Mitgliedes der Versuchs-Kommission zur Vertheilung kam und dessen Benutzung und Vervielfältigung mir gestattet wurde. Tafel I enthält seine Copie mit Weglassung Alles dessen, was auf noch bestehende Verhältnisse der Festung Bezug hat. Die Linien der Oeffnungen und Wirkungssphären der Trichter sind stärker aufgetragen, um sie dem Nicht-Ingenieur leichter erkennbar zu machen. Für diese allseitige Unterstützung spreche ich an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aus.

Im December 1865 überreichte ich der General-Inspection des Ingenieur-Corps den umfangreichen Bericht mit dem gesammten Beobachtungsmaterial und zahlreichen analytischen Belägen, stellte aber zu gleicher Zeit die von mir erhaltenen Resultate in einem kurzen Auszuge zusammen, um sie den für die Sache sich interessirenden Offizieren und Aerzten, welche an der Belagerungsübung betheiligt gewesen waren, schon vor der Veröffentlichung meiner Arbeit zugänglich zu machen, und ließ diesen Auszug zur Vermeidung wiederholten Abschreibens metallographiren. Die General-Inspection des Ingenieur-Corps veranlaßte später seine Veröffentlichung im Archiv für die Offiziere des

Artillerie- und Ingenieur-Corps[1]) jedoch mit der ausdrücklichen Bemerkung, daß es die Resultate einer Arbeit seien, deren Publication noch bevorstehe. Diese selbst verzögerte sich aus mehreren Gründen, vorzugsweise aber auch deswegen, weil durch schriftliche und mündliche Verhandlungen mit dem Chef der 2. Ingenieur-Inspection eine Fortsetzung, resp. Erweiterung der Arbeit in nahe Aussicht gestellt war und zwar durch Anlage einer neuen Versuchsmine, welche während der alljährlich in Neisse stattfindenden kleineren Festungsübung befohlen werden sollte. Die Ausführung dieses Plans wurde durch den inzwischen ausgebrochenen Krieg für das Jahr 1866 unmöglich gemacht.

So erwünscht mir nun auch die Anlage einer neuen Versuchsmine für die Entscheidung noch zweifelhafter Fragen und namentlich für die Ausführung der von mir vorgeschlagenen Versuche zur Absorption der Minengase gewesen wäre, so durfte ich doch mit der Veröffentlichung meiner Untersuchung nicht länger zögern, da inzwischen der Stabs- und Bataillons-Arzt Dr. Scheidemann seinen, an die Versuchs-Commission in Neisse gerichteten Bericht über die im Jahre 1862 bei dem Manöver bei Graudenz angestellten Beobachtungen der Minenkrankheit in der Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medicin[2]) und als eigene Schrift[3]) veröffentlicht hatte. In dieser Broschüre hatte Dr. Scheidemann, ohne mein Wissen und ohne meine Erlaubniß, den oben erwähnten, von mir selbst ihm zugesandten, aber nur für die private Mittheilung bestimmten Auszug meiner Untersuchung seinem wesentlichen Inhalte nach und mit sämmtlichen Analysen abgedruckt und zu gleicher Zeit einer kritischen Besprechung unterworfen. Die lückenhafte und entstellte Mittheilung der von mir erhaltenen Resultate und der in seiner Kritik angeschlagene Ton zwang mich zu einer Erwiderung[4]), in welcher mir die eigenthümliche, aber wenig angenehme Aufgabe zufiel, öffentliche Angriffe auf eine Arbeit zurückweisen zu müssen, welche

1) Band 59, Heft 2.

2) Neue Folge Bd. V.

3) Die Minenkrankheit, ihre wahre Ursache, Verhütung und Behandlung. Ein Beitrag zur Lehre von den giftigen Gasen. Für Ingenieur-Offiziere und Aerzte. Von Dr. Th. Scheidemann, Königlichen Stabs- und Bataillons-Arzt des Pommerschen Pionier-Bataillons (Nr. 2). Berlin 1866. Verlag von August Hirschwald.

4) Dr. Scheidemann und die wissenschaftliche Kritik. Eine Beleuchtung der Scheidemann'schen Schrift: Die Minenkrankheit, ihre wahre Ursache,

von mir noch gar nicht einmal publicirt worden war. Um so weniger durfte ich nun ihre Veröffentlichung länger aufschieben. Diese war aber auch im Interesse der Sache selbst geboten, um der durch die chemische Analyse der Minengase gewonnenen exacten Grundlage für die Beurtheilung aller hier einschlagenden Verhältnisse, gegenüber den Scheidemann'schen Ansichten, wieder zu ihrem Recht zu verhelfen. Eine Kritik der letzteren wird sich an den betreffenden Stellen von selbst ergeben.

## Der Minenkrieg.

Der Minenkrieg oder unterirdische Krieg beginnt in jenem Zeitpunkt der regelmäßigen Belagerung einer Festung, in welchem der Angreifer mit seinen Laufgräben, der dritten Parallele, an den Fuß des Glacis angelangt, hier auf einem offenen, von dem Feuer der Festung vollständig bestrichenen und von dem Minensystem derselben unterhöhlten Terrain nur durch den Angriff und die Zerstörung des letzteren sich der Festung weiter nähern kann. Der auf Tafel I enthaltene Plan des Minenkriegs der großen Belagerungsübung bei Neisse wird in übersichtlicher Weise die einzelnen Phasen desselben erkennen lassen, und es werden daher für Nicht-Ingenieure nur wenige Worte zu seiner Erläuterung nothwendig sein.

Der Angreifer legt unmittelbar vor der dritten Parallele sein Minenlogement an. Er sucht von hier aus in einer Anzahl von meistens parallelen, 2½' bis 3' hohen und 2' breiten, ziemlich steil abfallenden Gallerien das Niveau der Festungsminen zu erreichen und so weit wie möglich, mindestens 30'—50', vorzudringen, um durch Anlage und Sprengung einer Mine mit starker Ladung, 30—50 Centner Pulver, einer sogenannten Druckkugel oder überladenen

Verhütung und Behandlung. Für Ingenieur-Offiziere und Aerzte. Von Dr. Th. Poleck. Berlin 1867. Ernst Siegfried Mittler & Sohn. Diese Kritik der Scheidemann'schen Broschüre war ursprünglich für die Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medicin bestimmt. Da sie aber größere Dimensionen annahm, so zog ich es vor, damit Herrn Dr. Scheidemann auf dem von ihm betretenen Wege in den Buchhandel zu folgen und verweise ich hier auf diese kleine Schrift als die specielle Widerlegung der von Scheidemann an meinen Analysen geübten Kritik,

Mine, eine bedeutende Wirkung nach oben zu erzielen, einen Trichter aufzuwerfen. Durch einen solchen Trichter wird das im Bereich seines Explosionsherdes liegende Minensystem des Vertheidigers zerstört, zugleich aber auch eine große kegelförmige Vertiefung erzeugt — Trichter Nro. II hatte eine Oeffnung von cc. 74′ Durchmesser — deren obere, der Festung zugewandten Ränder so rasch als möglich von dem Angreifer mit Schanzkörben versehen, gekrönt und zu Logements für Infanterie eingerichtet werden. Auf solche Weise gedeckt, geht der Angreifer mit neuen Gallerien vor und sucht einen neuen Trichter aufzuwerfen. An diesen reiht sich ein dritter, vierter und je nach Umständen noch mehrere, und jeder bringt den Feind der Festung näher, bis es ihm endlich durch eine letzte Sprengung gelingt, Bresche zu legen und das angegriffene Festungswerk mit Sturm zu nehmen.

Der Vertheidiger sucht diesem Vorgehen durch Zerstörung der Arbeiten des Angreifers durch Contreminen wirksam zu begegnen. Sein fertiges Minensystem sendet vom Graben oder von einer der Richtung der Festungswerke parallel laufenden gemauerten Enveloppen-Gallerie mehrere parallele oder nur wenig divergirende, zum Theil auch noch gemauerte 4½′—6′ hohe und 3′ breite Hauptgallerien in das vorliegende Terrain aus, von denen entweder in senkrechter Richtung oder unter mehr oder weniger spitzen Winkeln — bei Systemen nach von der Lahr'schen Prinzipien betragen die Winkel 60° — zahlreiche kleinere Nebengallerien, Rameaux, sich abzweigen. Von der äußersten Spitze oder an geeigneten anderen Punkten derselben treibt der Vertheidiger bei Annäherung des Feindes eine Anzahl schmaler und niedriger Gänge, von nur 2′ Breite, 3′ Höhe und oft 50′—60′ Länge weiter vor, Horchgänge oder Ecouten, an deren Endpunkten, Têten, Mineure als äußerste Vorposten die Arbeiten des Feindes zu behorchen und aus der Natur des Geräusches ebensowohl die Annäherung als die Richtung derselben zu erkunden suchen. Wird der Feind in unmittelbarer Nähe vermuthet, so wird an der entsprechenden Tête eine Pulverkammer mit schwacher Ladung angebracht, deren Explosion grade hinreicht, um die feindlichen Minengallerien zu zerstören, zu quetschen, daher der Name Quetschmine oder Quetscher, ohne nach oben hin einen Trichter aufzuwerfen, dessen Bildung man hier im Gegentheil sorgfältig zu vermeiden sucht, weil man dadurch den Absichten des Feindes gradezu in die Hände arbeiten würde.

Sowohl bei den überladenen wie bei den Quetschminen muß die Gallerie vor der Pulverkammer rückwärts gegen den Rückstoß der explodirenden Ladung gesichert sein, sie muß verdämmt werden, damit die Mine in der Richtung der kürzesten Widerstandslinie wirke, welche bei der Sprengung eines Trichters die senkrechte Entfernung der Pulverkammer von der Erdoberfläche und bei der Quetschmine die Entfernung von der zu zerstörenden feindlichen Gallerie darstellt. Die Verdämmung muß erfahrungsgemäß das anderthalbfache der kürzesten Widerstandslinie betragen. Sie besteht aus Schichten von Rasen, mit welchem der verschlossene und etwas seitlich von der Tête der Gallerie liegende und verspreitzte Pulverkasten dicht versetzt und dahinter eine starke Verriegelung von 6zölligen Holze angebracht wird. Hierauf folgen wechselnde Schichten von Luftziegeln, Sandsäcken, Scheitholz mit dazwischen liegenden Verriegelungen und Verspreitzungen. Die Zündung geschah in Neisse entweder mit der Zündschnur oder mittelst galvanischer Leitung durch einen sehr sinnreich construirten Inductor des Mechanikus Siegfried Marcus in Wien.

Nach der Explosion verbreiten sich die Pulvergase, so weit sie nicht durch Sprengung eines Trichters nach oben hin entleert werden, in dem benachbarten Erdreich und in der Verdämmung und gelangen durch diese in die Gallerien. Wenn schon durch den Athmungsproceß der Mineure und durch die brennenden Lampen die Beschaffenheit der Luft in den langen Gallerien — die Tête der Quetschmine Nro. 1 war fast 250′ vom Mineneingang entfernt — beständig verändert wird und nur durch unausgesetzt wirkende Ventilatoren normal erhalten werden kann, so treten unmittelbar nach einer Minensprengung in dieser Beziehung weit ungünstigere Verhältnisse ein. Für den Vertheidiger wie Angreifer ist es von eben so großer Wichtigkeit, sofort von den Wirkungen und der Größe eines Explosionsherdes Kenntniß zu erhalten, als es in den meisten Fällen nothwendig wird, das Verdämmungsmaterial der gesprengten Mine aufzuräumen, um in derselben Richtung aufs Neue vorgehen und neue Sprengungen vorbereiten zu können. Sowohl bei dem Vordringen nach den gesprengten Têten, als namentlich bei dem Aufräumen der Verdämmung treten eigenthümliche Krankheitserscheinungen auf, welche, wie bereits erwähnt, nicht selten alle in einer Mine beschäftigten Arbeiter ergreifen und arbeitsunfähig machen. Selbst bei Anwendung von kräftigen Ventilatoren vergehen oft mehrere Stunden, ehe das Betreten der Gallerien möglich wird,

Ehe wir an die Schilderung dieser Krankheitserscheinungen, welche man unter dem Namen Minenkrankheit zusammengefaßt hat, näher herantreten, erscheint es geboten, mit wenigen Strichen eine Skizze der großen Belagerungsübung in Neisse zu entwerfen. Dieser lag die Idee eines regelmäßigen Angriffs auf das im Norden der Festung gelegene Fort Preußen und dessen Außenwerke zu Grunde. Die Uebung begann am 5. August mit der Aushebung der Halbparallelen, welche zur dritten Parallele führten. An den darauf folgenden Tagen wurde letztere ausgebaut, bedeckte Unterkunftsräume angelegt und mit dem Bau von Batterien begonnen. In der Nacht vom 9. zum 10. August folgte die Anlage und an dem darauf folgenden Tage der Ausbau des Minenlogements, so daß am 14. August der eigentliche Minenkrieg begann. Der Plan des Minenkriegs lehrt, daß der Angreifer in sechs nahezu parallelen Gallerien[1]) von seinem Minenlogement vorging, während die Vertheidigung von den äußersten Spitzen der Rameaux der Gallerien I und II durch weit vorgetriebene Ecouten und Sprengung der Têten dem Feinde entgegentrat. Die Bezeichnungen lassen keinen Zweifel über die Bedeutung der Linien, welche bei den Trichtern stärker als bei den Quetschminen aufgetragen sind und von denen die innere den Umfang des Trichterrandes, die äußere seine Wirkungssphäre darstellen. Quetschminen und Trichter sind mit Zahlen versehen, welche in den meisten Fällen die Aufeinanderfolge ihrer Explosionen, aber nicht ihre Beziehungen zu einander darstellen. Die Kenntniß der letzteren ist wichtig nicht blos für die Beurtheilung des hin und her wogenden unterirdischen Kampfes sondern, was uns hier näher liegt, wegen des gleichzeitigen Auftretens der Minenkrankheit in den zu den gesprengten Têten führenden Gallerien.

Quetschminen und Trichter wurden in nachstehender Reihenfolge gesprengt[2]):

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Quetschmine | Nr. | 1 | den | 16. | August | 6 | Uhr | 30 | Minuten | Morgens |
| dito | Nr. | 2 | „ | „ | dito | 11 | „ | 30 | „ | Vormittags |
| dito | Nr. | 3 | „ | „ | dito | 11 | „ | 20 | „ | Nachts |
| dito | Nr. | 4 | den | 17. | August | 12 | „ | 30 | „ | Mittags |
| Trichter | Nr. | II | „ | 18. | dito | 2 | „ | 47 | „ | Morgens |
| dito | Nr. | I | „ | „ | dito | 6 | „ | 30 | „ | Nachmittags |
| Quetschmine | Nr. | 5 | „ | „ | dito | 6 | „ | 45 | „ | dito |

1) Die feindlichen Gallerien sind auf dem Plan nur mit einem G. bezeichnet.
2) Minen-Journal.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Quetschmine | Nr. | 6 | den 18. August | 11 | Uhr | 30 | Minuten | Nachts |
| Trichter | Nr. | III | den 19. August | 3 | „ | 45 | „ | Morgens |
| Quetschmine | Nr. | 7 | „ „ „ | 12 | „ | „ | „ | Mittags |
| dito | „ | 8 | „ „ „ | wurde nicht gezündet | | | | |
| dito | „ | 9 | „ „ „ | Nachmittags | | | | |
| dito | „ | 10 | den 21. August | 5 | Uhr | 20 | Minuten | Nachmittags |
| dito | „ | 11 | „ „ „ | 2 | „ | 20 | „ | dito |
| dito | „ | 12 | „ „ „ | 6 | „ | 40 | „ | dito |
| dito | „ | 13 | den 22. August | 2 | „ | 15 | „ | Morgens |
| dito | „ | 14 | „ „ „ | 5 | „ | 45 | „ | dito |
| dito | „ | 15 | „ „ „ | wurde entladen | | | | |
| Trichter | Nr. | IV | den 22. August | 10 | Uhr | — | Minuten | Morgens |
| Quetschmine | Nr. | 16 | den 23. August | 4 | „ | 15 | „ | dito |
| dito | „ | 17 | „ „ „ | 5 | „ | 45 | „ | dito |
| dito | „ | 18 | „ „ „ | 2 | „ | 3 | „ | Nachmittags |
| Trichter | Nr. | V | den 24. August | 7 | „ | 15 | „ | Morgens |
| Quetschmine | Nr. | 19 | „ „ „ | 10 | „ | 40 | „ | Abends |
| dito | Nr. | 20 | den 25. August | 5 | „ | 40 | „ | Morgens |
| dito | „ | 21 | „ „ „ | 10 | „ | — | „ | dito |
| dito | „ | 22 | „ „ „ | 9 | „ | 15 | „ | Abends |
| dito | „ | 23 | „ „ „ | 7 | „ | 15 | „ | dito |
| dito | „ | 24 | „ „ „ | 7 | „ | 15 | „ | dito |
| Trichter | Nr. | VII | den 29. August | 6 | „ | 10 | „ | Nachmittags |
| Quetschmine | Nr. | 25 | den 30. August | 3 | „ | — | „ | Morgens |
| dito | „ | 26 | „ „ „ | 3 | „ | — | „ | dito |
| Trichter | „ | VI | „ „ „ | 10 | „ | — | „ | dito |

Der Minenkrieg einer Belagerungsübung spiegelt in allen Einzelheiten die Wirklichkeit treu wieder. Angreifer und Vertheidiger sind in völliger Unkenntniß des Planes ihrer gegenseitigen Operationen, welchen sie nur durch genaue und scharfe Beobachtung durchkreuzen können. Der Vertheidiger hat alle Têten seiner Ecouten, welche sich wie Fühlfäden dem Feinde entgegenstrecken, mit Posten besetzt, welche hier die Annäherung des Feindes, deren Richtung nur im Allgemeinen aus der Anlage der dritten Parallele zu erschließen ist, nicht mit dem Auge sondern mit dem Ohr beobachten und daher mit der Leitungsfähigkeit der verschiedenen Bodenarten für den Schall aus der Praxis genau vertraut sein müssen. Setzt die Beobachtung die Annäherung des Feindes außer Zweifel, dann wird Alles rasch vorbereitet, um

ihn von der betreffenden Tête aus anzufallen und seine Arbeiten zu zerstören. Die zum Laden bereite Mine wird bei den als „Unpartheiische“ fungirenden Stabsoffizieren angemeldet, welche je nach den Umständen die Erlaubniß zum Zünden geben oder verweigern. Alle Vorsichtsmaßregeln zur Verhütung von Unglück vor und während einer Explosion sind getroffen, und es ist für den unbetheiligten Laien ebenso interessant, die Ameisen gleiche Thätigkeit der Mineure, die Regelmäßigkeit und Ordnung in der Ausführung aller Operationen zu sehen, als die Beobachtung wohlthuend, mit welcher Sorgfalt die Offiziere die Sicherheit ihrer Mannschaften überwachen und mit welchem Eifer, um nicht Begeisterung zu sagen, diese ihren beschwerlichen und selbst bei einer Friedensübung nicht ungefährlichen Dienst verrichten.

Während die Explosionen der Quetschminen eine nur mäßige Erschütterung des Bodens veranlaßten, gewährten die Trichter sowohl durch ihre äußere Erscheinung wie durch ihre Wirkung ein majestätisches Schauspiel. Namentlich war dieß bei dem in einer dunklen Nacht mit 40 Centner Pulver gesprengten Trichter Nr. II der Fall, bei welchem die mächtige, von unten her durch die hervorbrechenden Flammen beleuchtete Sand- und Dampfwolke dem Bilde eines vulkanischen Ausbruchs nicht unähnlich war. Als der entstandene Trichter, dessen Durchmesser am oberen Stande cc. 74′ und dessen Tiefe cc. 25—28′ betrug, unmittelbar nach der Explosion in seinem inneren Mantel und an seiner Spitze durch eine Anzahl Laternen erleuchtet wurde, glaubte man, durch den Contrast des nächtlichen Dunkels getäuscht, in einen mehrere 100 Fuß tiefen Abgrund zu blicken. Uebrigens war die im Boden fortschreitende Erschütterungswelle dieses Trichters in unmittelbarer Nähe weniger fühlbar, wenigstens war dieß in dem Sicherheitsstande der Fall, von welchem aus die Explosion beobachtet wurde, dagegen wurde der Stoß in größeren Entfernungen weit stärker empfunden. Durch photographische Aufnahme wurden alle interessanten Momente der Belagerungsübung festgehalten und in einem Album vereinigt. Tafel II enthält die Lithographie des Trichters Nr. V, welche ein anschauliches Bild der geschilderten Verhältnisse gewährt.

Mit Sprengung des Trichters Nr. VII war zwar der Minenkrieg im engeren Sinne beendet, damit aber nicht die Thätigkeit der Mineure. Ihre Arbeiten waren östlich vom Minengefechtsfelde vorgedrungen, sie hatten nach einander durch Krönung des Glacis, durch Sprengen überladener, unverdämmter Schachtminen, welche vertikal

schachtartig abgesenkte, eben so rasch zu ladende als wirkungsvolle Minen darstellen, — in der Nacht vom 31. August zum 1. September wurden vier Schachtminen auf einmal gesprengt — theils die Contre-Escarpe des angegriffenen Werks, seine äußere Mauer, eingeworfen, theils einen Niedergang nach seiner Grabensohle, eine Descente, hergestellt. Durch diese sollte die Futtermauer des Grabens in Bresche gelegt, der Grabenübergang bewirkt und die Anlage einer großen Demolitions-Mine in der Escarpe, der inneren Grabenmauer, ermöglicht werden. Während dieser Arbeiten war inzwischen die Wegnahme des gedeckten Weges, die Erstürmung der Außenwerke, Festsetzung des Feindes in denselben, Errichtung von Contre-Batterien 2c. erfolgt und, nachdem noch ein, den Uebergang über den Graben deckendes Blockhaus durch eine Mine zerstört worden war, ließ man die oben erwähnte große Demolitionsmine spielen und drang durch die entstandene Bresche mit Sturm in das Kernwerk ein.

Damit war die großartige Uebung beendet, deren einzelne Momente eben nur angedeutet werden konnten, da eine eingehende Schilderung vor Allem eine sachverständige Feder verlangt. Es versteht sich von selbst, daß während der ganzen Uebung eine bedeutende artilleristische Thätigkeit entwickelt wurde. Die Sicherheit des Schusses der schweren gezogenen Festungsgeschütze, die zerstörende Wirkung ihrer explodirenden Geschosse, das Werfen von Hohlgeschossen aus Mörsern nach den gesprengten Trichtern und einem Blockhause, hier unter den schwierigsten Verhältnissen, die Spreng-Raketen, die Leuchtkugeln, Grabenbeleuchtnng 2c. führten nicht blos den zahlreich anwesenden fremdländischen Offizieren, sondern auch dem Laien die gegenwärtige hohe Entwicklung dieser Waffe vor Augen.

Vor Allem aber mußte die Belagerungsübung den Naturforscher interessiren. Dem Chemiker wie dem Physiker traten in der Thätigkeit der Ingenieure und der Artillerie ebensowohl eine Menge glücklich gelöster Probleme der angewandten Naturwissenschaften entgegen, als es dabei nicht an neu gebotenem Beobachtungsmaterial fehlte, dessen Verwerthung nicht minder der Wissenschaft selbst, wie der Praxis zu Gute kommt, eine Wechselwirkung, welche von vornherein jeden Fortschritt verbürgt.

So gestaltete sich im Rahmen einer an Naturschönheiten reichen Umgebung die Belagerungsübung bei Neisse zu einem lebensvollem Bilde kriegerischer Thätigkeit. Das militärische Schauspiel erfreute zunächst das Auge des unbetheiligten Zuschauers, aber indem es zu-

gleich den ganzen Ernst einer Belagerung wiederspiegelte, trug es wesentlich dazu bei, das Vertrauen zur Wehrhaftigkeit des Landes und zur kriegerischen Ausbildung seiner Vertheidiger zu steigern.

---

## Die Minenkrankheit.

Unter Minenkrankheit versteht man die Summe eigenthümlicher Krankheits-Erscheinungen, von denen die Mineure nach Minen-Explosionen beim Vordringen nach den gesprengten Têten oder in denselben beim Aufräumen der Verdämmung ergriffen werden. Die neueren Ansichten über die Natur der Minengase und die Ursache der Minenkrankheit lassen sich in zwei Gruppen bringen.

Nach der Ansicht von Josephson und Rawitz ist Schwefelwasserstoffgas in den Minengasen vorherrschend und die Minenkrankheit daher eine Vergiftung durch Schwefelwasserstoff. Nach Josephson[1]) „unterliegt es wohl keinem Zweifel, daß als schädliche Ursache die aus der Explosion des Pulvers sich bildenden Gase, insonderheit der Schwefelwasserstoff, angesehen werden müssen, daß die Minenkrankheit wissenschaftlich eine intoxicatio hydrothionica darstellt.“ Rawitz[2]) hielt es ebenfalls als erwiesen, daß „die eigentliche Ursache der Minenkrankheit in den Inhalationen des Schwefelwasserstoffs zu suchen ist, welcher sich beim Verbrennen des Pulvers bildet,“ und er hält diese Ansicht auch in einem der Versuchs-Kommission in Neisse überreichten Promemoria vom 5. Juli 1865 aufrecht und durch den günstigen Ausfall einer am 17. Juli 1865 in Glogau unternommenen Minensprengung, wobei das Verdämmungs-Material zur Entfernung des Schwefelwasserstoffs auf seinen Vorschlag mit Eisenvitriol-Lösung benetzt worden war, für hinreichend bestätigt.

Dagegen macht Scheidemann in seinem Bericht „über die im Jahre 1862 beim Manöver in Graudenz angestellte Beobachtung der Minenkrankheit“ geltend, daß er in den Gallerien, in denen Schießpulver-Explosionen stattgefunden hatten und eine beträchtliche Anzahl von Mineuren erkrankt war, keinen auffallenden Geruch nach Schwe-

1) l. c. S. 12.
2) l. c. S. 123.

selwasserstoff bemerkt habe, und daß eine eben so große, wo nicht größere Anzahl von intensiven Erkrankungen in Gallerien vorgekommen seien, in denen die Minen mit Schießwolle gesprengt worden wären, wo mithin alle Bedingungen einer Schwefelwasserstoffentwicklung gefehlt hätten. Aber auch der Symptomen-Complex der Minenkrankheit falle nicht mit einer Schwefelwasserstoff-Vergiftung zusammen, er gleiche weit mehr einer Vergiftung durch Kohlenoxyd. Dieses Gas sei aber neben Kohlensäure und Stickstoff den Verbrennungs-Produkten der Schießwolle und des Schießpulvers gemeinsam.

Eulenberg[1]) theilt diese Ansichten. Nach seiner Meinung sprechen die von Josephson aufgestellten drei Krankheitsformen ganz entschieden für die Einwirkung des Kohlenoxyds und der Kohlensäure und ebenso finden die von Rawitz geschilderten Fälle ihre ungezwungene Erklärung durch die Einwirkung derselben Gase.

Die Ansichten von Josephson und Rawitz gründen sich vorzugsweise auf die ältere Anschauung des Verbrenungs-Prozesses beim Schießpulver und auf die subjectiven Empfindungen der Wahrnehmung des Schwefelwasserstoffs, welchen sie, als den zunächst in die Sinne fallenden Bestandtheil der Pulvergase, auch für den wirkungsvollsten annehmen. Die Ansichten von Scheidemann und Eulenberg stützen sich dagegen auf die neuesten Untersuchungen der Verbrennungs-Produkte des Schießpulvers von Bunsen und auf die große Aehnlichkeit der Symptome der Minenkrankheit mit den durch die Bestandtheile der Pulvergase hervorgerufenen Krankheits-Erscheinungen, da dieselben Gase in denselben relativen Mengen auch in den mit Schießpulver gesprengten Minen vorausgesetzt werden müßten. Die letztere Behauptung ist aber eine unbewiesene Voraussetzung, denn sie geht von der Ansicht aus, daß die chemische Natur und die Zusammensetzung der Verbrennungsprodukte des Schießpulvers nur von seiner Zusammensetzung, seiner Dosirung, abhängig, dagegen unabhängig von den Bedingungen sei, unter denen das Pulver explodire. Schon die vorhandenen neueren Pulver-Analysen gestatten, wie dieß später gezeigt werden soll, nicht einmal den Schluß, daß verschiedene Pulversorten unter gleichen Explosions-Bedingungen ihrer Dosirung analoge Verbrennungs-Produkte geben, wie viel weniger wird dies der Fall sein bei einer Veränderung der Bedingungen, unter denen die

1) l. c. p. 129.

Explosion stattfindet. Für den Verlauf dieses Verbrennungs-Prozesses und die Natur seiner Produkte kann es nicht gleichgültig sein, ob das Pulver unter gewöhnlichen Atmosphären-Druck oder in explodirenden Geschossen verbrennt, wo es einen so großen Widerstand zu überwinden und eine so bedeutende Arbeit zu leisten hat, ob es im luftleeren oder lufterfülltem Raum entzündet wird, ob endlich seine gasigen Verbrennungs-Produkte sich frei in die Atmosphäre oder inmitten von Absorptionsmitteln, wie bei den Minensprengungen, verbreiten. Nur das Experiment kann diese Fragen entscheiden, nur die directe chemische Analyse über die Natur der Minengase Auskunft geben.

Da nun analytische Beläge für die vermuthete Zusammensetzung der Minengase von keiner Seite beigebracht worden sind, so fällt der Schwerpunkt der von den genannten Aerzten vertretenen Ansichten in die Vergleichung der betreffenden Krankheitserscheinungen, und es wird nun auf den Nachweis ankommen, in wie weit dieselben einen zwingenden Schluß, auf die sie hervorrufende Ursache, auf die chemische Natur der Minengase gestatten. Als Nicht-Mediciner kann ich hier nur die Beobachtungen von Josephson, Rawitz, Scheidemann u. A. und die Ansichten von Eulenberg reproduciren, ohne mir über dieselben ein eingehendes Urtheil zu erlauben.

Josephson[1]), welcher die Minenkrankheit bei der Schleifung der Festung Jülich beobachtete, unterscheidet drei Krankheitsformen, deren Schilderung in ihrer ganzen Ausführlichkeit ich hier mit seinen Worten folgen lasse.

I. In der gelindesten Form der Krankheit fühlen die Arbeiter während ihrer Thätigkeit, innerhalb der Gallerie, plötzlich einen bohrenden Schmerz in der Mitte der Stirn, der sie so schnell und mit solcher Heftigkeit überfällt, daß sie taumelnd niedersinken. Das Bewußtsein ist dabei zwar nicht erloschen, aber doch so benommen, daß die Antworten nur zögernd und unvollständig ertheilt werden. Dies bleibt auch in den ersten Stunden, nachdem die Kranken an die frische Luft befördert sind, der Fall, sie liegen da in einer trübseligen Lethargie, in einer völligen Energielosigkeit, können nicht gehen, nicht stehen, verweigern den Genuß von Speisen und Getränken und klagen nur über den furchtbaren Kopfschmerz, wie sie ihn noch nie gehabt hätten. — Die Kranken geben übereinstimmend an, daß sie, nachdem sie in

1) l. c. S. 12.

dem Moment vorher sich vollkommen wohl gefühlt und ohne daß vorher Uebelkeit oder Schwindel sich zeigten, urplötzlich die Empfindung gehabt hätten, „als bohre sich ein glühendes Messer in ihre Stirn", während gleichzeitig vor ihren Ohren ein dumpfes „Tucken", ein Klopfen vernehmbar gewesen wäre. Der Schmerz sei so heftig gewesen, daß sie sich nicht mehr auf den Füßen hätten halten können, es habe sich plötzlich Alles mit ihnen im Kreise gedreht, so daß sie zu Boden gesunken seien.

Untersucht man diese Kranken genauer, so zeigt die Haut keine durch das bloße Gefühl wahrnehmbare Temperatur-Alteration, ebensowenig ist ihre Sensibilität verändert. Die Conjunctiva ist in allen Fällen leicht injicirt, die Größe der Pupillen, sowie die Reaction der Iris normal. Herzthätigkeit und Respiration gehen ungestört vor sich, dagegen ist der Verdauungs-Apparat ganz constant der Sitz von Störungen: in der Regel ist Obstruction, stets aber starke Gasauftreibung des Abdomens vorhanden — ein Umstand, auf den ich späterhin noch zurückkommen werde.

In diesem Zustande verharren die Kranken meist lange Zeit, niemals schließt derselbe mit Stunden ab, sondern noch nach 2—3 Tagen ist der Kopfschmerz, wenn auch in verringerter Intensität, vorhanden.

II. Der Arbeiter kommt aus der Gallerie ganz wohl aussehend zurück und wendet sich zu dieser oder jener Beschäftigung, ohne daß irgend etwas an ihm auffiele. Plötzlich stürzt er ohne einen Aufschrei nieder. Keine Bewegung an ihm verräth, daß noch ein Lebensfunke in ihm sei, das Athmen stockt, das Auge ist halb geschlossen und reagirt auf keinen Reiz, der Puls aber erscheint groß, voll, beschleunigt bis zu 90—96 Schlägen. Die Hautfarbe ist ganz normal, ihre Temperatur dem Gefühl nach nicht, oder nur wenig vermindert, der Kopf nicht heiß. Nach ½—1 Minute beginnt die Respiration wieder, anfangs krampfhaft, während in dem Symptomencomplex noch keine Aenderung bemerkbar wird. War der Kranke jetzt hingesetzt worden, so hängt der Kopf vorn auf der Brust, der Mund steht offen und aus ihm fließt Speichel in auffallender Masse. Flößt man dem Kranken eine Arznei ein, so schluckt er dieselbe nicht, sie fließt sogleich wieder ab und selbst die stärksten Riechmittel rufen nur spät eine Reaction hervor. Häufiger stellen sich jetzt heftiger Singultus und starke Brechbewegungen ein, selten aber, und dann erst spät, kommt

es zu wirklichem Erbrechen, dann aber unter großer Erleichterung. Kitzelt man nun den Schlundkopf mit einem Federbart oder vermittelst des Fingers, so hat das nie irgend welche Folge, niemals habe ich es dadurch zu stärkeren Brechbewegungen, geschweige denn zu wirklichem Erbrechen bringen können. Ebensowenig Reaction erzielen Reizungen der äußeren Haut, Kitzeln, Frictionen, Stechen ꝛc. Alles das veranlaßt weder eine Schmerzäußerung noch eine abwehrende Bewegung. Auch hier ist die Conjunctiva constant und meist ziemlich stark injicirt.

Dieser Zustand nun erstreckt sich selten über die Dauer von 10—15 Minuten, dann kehrt das Bewußtsein allmählig zurück, der Puls wird kleiner und der Kranke klagt jetzt nur über großes Kältegefühl, so wie über Stirn-Kopfschmerz, der aber hier eben so oft auf der ganzen Stirn verbreitet ist, als er sich auf ihre Mitte concentrirt. Indeß dauern auch diese Symptome fast nie länger als eine Stunde, dann kehrt der eben noch Kranke an seine Arbeit zurück. Ich will gleich hier erwähnen, daß es sehr auffallend ist, mit welcher Eile die Kranken dieser Gruppe nach jener Arbeit zurückstreben, die sie so eben in ihren traurigen Zustand versetzte, oft lassen sie sich nur mühsam davon zurückhalten. Es wurde mir diese Erscheinung als ganz constant von sehr vielen Offizieren bestätigt.

Befragt man den nun Genesenen, ob er über den Beginn seines Zustandes oder über dessen Verlauf etwas wisse, so tritt auch hier regelmäßig die Klage über jenen bohrenden Schmerz in der Mitte der Stirn, über das „Tucken" vor den Ohren auf. Sehr oft behaupten sie auch, ganz gut gehört zu haben, wie man sie bei Namen gerufen hätte, oder wollen wissen, daß man ihnen etwas zu riechen gegeben hätte, sie hätten sich aber nicht im Stande gefühlt, dem entsprechen zu können. Athembeschwerden, Beklemmungen auf der Brust wurden überall in Abrede gestellt.

Anamnestische Anhaltspunkte fehlten stets, insonderheit war bei keinem Fall irgend welche abnorme Erscheinung seitens des Verdauungstracts vorher vorhanden gewesen oder bei der Untersuchung aufzufinden.

**III.** Die letzte Form ist ihrer äußeren Erscheinung nach von der vorigen durch den Zutritt von Krämpfen mannigfacher Art unterschieden. Selten nur gesellen sich diese zu der ad **II** gedachten Form, und bestehen dann fast nur in heftigem Zittern einer oder beider obern Extremitäten. In einem einzelnen Falle nur sah ich dies Zittern

schließlich in krampfhafte Streckung mit endlichen heftigen Zuckungen der genannten Theile übergehen. Die erste Form war mit krampfhaften Erscheinungen nie verbunden.

Meistentheils kommt diese Form innerhalb der Gallerien zu einem plötzlichen Ausbruch. Der Kranke stürzt, wie vom Schlag getroffen, zu Boden, liegt hier einen Moment ruhig, aber ehe noch der Hintermann ihn nach dem Ausgang zu weiter befördern kann, kommen Krämpfe verschiedener Art zum Ausbruch. Selbstredend konnte ich dieselben innerhalb der Gänge nicht beobachten, die Erzählungen aber der Offiziere und Mannschaften schildern dieselben der Art, daß in einzelnen Fällen eine große Aehnlichkeit mit epileptischen Krampfparoxysmen nicht zu verkennen ist. Ich sage in einzelnen Fällen, meistens soll der Kranke nur eine einzige krampfhafte Bewegung machen, in welcher derselbe sich dergestalt tetanisch zwischen die Wände stemmt, daß seine Herausschaffung häufig nur sehr mühsam ermöglicht wird. In seltneren Fällen bleibt auch der Kranke plötzlich stehen, regungslos, und nun kommt nach einigen Secunden ein eben solch vereinzelter Anfall, in welchem er sich stehend zwischen den Wänden einklemmt.

Sind nun die Betreffenden aus ihrer Gällerie ans Tageslicht gebracht worden, so befällt sie an der frischen Luft fast ausnahmlos aufs Neue ein starrkrampfähnlicher Zustand, die Glieder fühlen sich hart an und sind unbeweglich, die Zähne sind fest auf einander gepreßt, während die stertoröse Respiration dichten Schaum vor den Mund fördert. Das Bewußtsein ist erloschen. Die Pupille ist weit und reagirt nicht, das Auge ist geöffnet, der Bulbus nach oben und innen gerollt, die Conjunctiva sehr stark injicirt. Der Puls ist voll, mäßig frequent, stets ungleich und unregelmäßig, der Herzchoc ist äußerst heftig und weit über den Thorax verbreitet fühlbar. Die Haut ist wie gewöhnlich temperirt. — Allgemeine Convulsionen habe ich nie beobachtet, obwohl sie nach Aussage der Officiere vorkommen sollen. Dagegen gesellte sich in einem Falle, wo innerhalb der Gallerie allgemeine Krämpfe vorhanden gewesen waren, zu dem Tetanus ein heftiger Trismus, der aber sogleich nachließ, als ich einen neben dem Kranken stehenden Krug mit Wasser von oben herab auf dessen Kopf entleerte. —

Der Krampf nun währte längstens 1—2 Minuten, dann wurde die Musculatur schlaff, die Glieder beweglich, aber alle Kranken preßten jetzt, bei noch nicht zurückgekehrtem Bewußtsein, ihre Hände wie vor rasendem Schmerz so fest gegen den Kopf, als fürchteten sie, er könne

ihnen springen, bald dabei mit den Zähnen knirschend, bald ein dumpfes Gebrüll ausstoßend, während gleichzeitig der Puls klein, aussetzend und immer frequenter wurde. Die Haut erschien dann blaß, kühl und häufige Frostschauer gaben ihr das Aussehen der Gänsehaut. Nach und nach kehrte das Bewußtsein zurück, aber schon nach kurzer Zeit, nachdem die Kranken kaum über den „gräßlichsten" Kopfschmerz und über heftiges Kältegefühl geklagt hatten, verfielen sie in tiefen Schlaf in dem sie nicht selten anhaltend schluchzten und weinten und wobei ihnen enorme Quantitäten Speichels aus dem Munde flossen.

Erquickt wachen die Kranken nach längerer Zeit auf, nur der Kopfschmerz quält sie anhaltend, Tage lang, gestattet ihnen indessen schon am folgenden Tage die Fortsetzung der Arbeit.

Ueber den Beginn der Krankheit wissen diese Kranken nie etwas auszusagen. Sie empfinden vorher weder Unbehagen, noch Schwindel oder Benommenheit. Aus ihrem Schlaf erwacht, sind sie verwundert, auch zu den „Leichen" gehört zu haben. Gastricismen fehlten stets. —

Die drei Formen also, unter welchen die Minenkrankheit erscheint, unterscheiden sich, um dies kurz zu resumiren, dadurch:

daß bei der ersten, neben schon vorher bestandenen Gastricismen, eine mäßige Narcose des Nervensystems sich einstellt, die das Bewußtsein zwar nicht ganz aufhebt, aber doch sehr benimmt, ohne indeß ihre Wirkung bis auf die peripherische Nervenausbreitung zu erstrecken;

daß bei der zweiten hingegen diese Narcose eine vollständige ist, wo das Bewußtsein vollkommen stockt und die Innervation so sehr beeinträchtigt ist, daß starke Reize weder bei den mit cerebralen, noch bei den mit spinalen Nerven versehenen Organen eine Reaction hervorrufen. Außerdem zeigt sich hier erhöhte Herzthätigkeit und vermehrte Speichelsecretion.

Bei der letzten Form endlich ist die Wirkung der giftigen Gase eine so intensive, daß hier Krämpfe mit Pause des Bewußtseins und ebenfalls völlig unterbrochener Nervenleitung zum Ausbruch kommen, außerdem aber ein Ergriffensein des Circulations-Apparates in der irregulären Herzthätigkeit sich kundgiebt. Die Speichelsecretion ist auch hier vermehrt.

Gemeinsam ist allen Formen die Injection der Conjunctiva, und zwar steht deren Intensität in geradem Verhältniß zur Höhe des Krankheitsgrades."

Mit diesen von Josephson gegebenen Krankheitsbilde stimmen die Beobachtungen von Rawitz[1]) Scheidemann[2]) und Keßler[3]) im Allgemeinen überein.

Scheidemann meint nur, daß er seinerseits einen Zusammenhang der verschiedenen Krankheitsformen mit schon vor dem Erkranken bestehenden Verdauungsbeschwerden, Obstruction und Gasauftreibung im Unterleibe, nicht beobachtet habe, wie dieß Josephson für die erste Krankheitsform angiebt. In den schlimmeren Fällen der zweiten und dritten Form fand er die Hauttemperatur nicht wie Josephson stets normal, sondern in Uebereinstimmung mit Rawitz die Extremitäten zuweilen kalt und die Haut meist mit reichlichem kalten Schweiß bedeckt. In diesen Fällen war die Respiration sehr verlangsamt. Auch theilt er nicht die Ansicht Josephsons, daß „bei den von Krämpfen Befallenen die Erkrankung ohne alle Vorboten, mit einem Schlage, in voller Intensität auftrete, denn alle derartigen Kranken versicherten ihm, daß auch bei ihnen der heftige Stirnschmerz, sowie ein Gefühl von Betäubung vorangegangen sei."

Keßler giebt analoge Krankheitsbilder wie Josephson. Aus seinem ärztlichen Berichte hebe ich hervor, daß in fünf leichteren Fällen sich Symptome zeigten wie bei einem heiter Berauschten, Singen, verworrenes schnelles Sprechen, Lachen, dabei Taumeln oder Springen, doch hielt dieß nur wenige Minuten an. Die Kranken waren nachher matt und klagten ebenfalls über Stirnschmerz. Einen ähnlichen Fall beobachtete auch Rawitz. Bei den schwereren Erkrankungsformen war in mehreren Fällen die rasche Erholung charakteristisch. Analog den Beobachtungen von Josephson waren vollkommen Asphyctische bei 10—15 Minuten langer Bewußtlosigkeit, nach ein bis anderthalb Stunden, namentlich wenn Erbrechen eintrat, bis auf Mattigkeit und Kopfschmerz wieder so weit hergestellt, daß sie nach der Arbeit zurückverlangten. Auch zwei Fälle von Starrkrampf wurden beobachtet.

Zwei wichtige Momente ergaben sich noch aus sämmtlichen Beobachtungen der Minenkrankheit:

---

1) l. c.

2) l. c. S. 7.

3) Aerzliches Gutachten und Erfahrungen bezüglich der Behandlung Minenkranker, begründet auf die Beobachtungen während der Belagerungsübung bei Neisse im Herbst 1865 von Stabsarzt Dr. Keßler, für dessen Benutzung ich hier meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

1) Es ist noch kein Todesfall durch die Minenkrankheit bekannt geworden und ebenso wenig sind langwierige Nachkrankheiten oder dauernde örtliche Lähmungen und entzündliche Affectionen des Gehirns bis jetzt beobachtet worden, während in dieser Beziehung die Kohlendunst- resp. Leuchtgas-Vergiftung schon so viele Opfer verlangt hat.

2) Die Zahl der Minenkranken nimmt im Laufe des Minenkriegs ab und wird in den letzten Stadien desselben sogar gleich Null.

Nach Josephson's[1]) statistischer Tabelle erkrankten bei der großen Belagerungs-Uebung zu Jülich:

am ersten Tage 56 pC. der Mineure, davon in der längsten Gallerie von 16 Arbeitern 15 Kranke;

am zweiten Tage 33⅓ pC., darunter neun Krampfkranke;

am dritten Tage 16⅔ pC. und kein Krampfkranker;

am vierten Tage 5 pC. Die drei Kranken, von denen keiner mit Krämpfen behaftet ist, gehen schon nach einer Stunde zur Arbeit zurück;

am fünften Tage 4 pC. Die beiden Kranken können nach einer Stunde weiter arbeiten.

Rawitz[2]) berichtet, daß in den letzten Tagen des Minenkriegs bei Glogau gar keine Minenkrankheit beobachtet wurde, trotzdem an diesen Tagen unter sonst ganz gleichen Verhältnissen wie an den vorangegangenen Tagen, in ebenso und noch mehr durchschossenen Erdreich, bei ebenso mangelhafter Ventilation und nach Verlauf eines gleichen Zeitraums nach den Sprengungen gearbeitet wurde.

Scheidemann[3]) beobachtete bei dem Festungs-Manöver in Graudenz, wo das für den Minenkrieg bestimmte Terrain ein dichter fester Lehm war, „daß im weiteren Verlaufe des Minenkriegs die Zahl der Kranken wesentlich nachläßt."

Damit stimmen die Beobachtungen während der Belagerungsübung in Neisse vollständig überein, bei welcher von Keßler am ersten Tage des Minenkriegs am

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 16. | August | 19 | Minenkranke | = | 21,0 | pC. |
| 17. | dto. | 2 | dto. | = | 2,2 | „ |
| 18. | dto. | 6 | dto. | = | 6,6 | „ |

---

1) l. c. S. 16.

2) Scheidemann, die Minenkrankheit, ihre wahre Ursache 2c. S. 26.

3) l. c. S. 27.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 19. | August | 0 | Minenkranke | = | — | pC. |
| 21. | dto. | 0 | dto. | = | — | „ |
| 22. | dto. | 2 | dto. | = | 1,3 | „ |
| 23. | dto. | 7 | dto. | = | 5,0 | „ |
| 24. | dto. | 3 | dto. | = | 2,1 | „ |
| 25. | dto. | 6 | dto. | = | 4,4 | „ |
| 26. | dto. | 0 | dto. | = | — | „ |
| 28. | dto. | 6 | dto. | = | 7,4 | „ |
| 29. | dto. | 0 | dto. | = | — | „ |
| 30. | dto. | 0 | dto. | = | — | „ |

bei der Vertheidigung beobachtet wurden. Die Erhöhung des Procentsatzes am 28. August wird später ihre Erklärung finden. „Die Fälle waren meistens von leichter Natur und kein Fall beanspruchte eine Aufnahme ins Lazareth." Die analogen Beobachtungen der Minenkranken beim Angreifer fehlen mir. Im Allgemeinen erkrankten von sämmtlichen im Minenkriege beschäftigten Mineuren 192 = 14,6 pC.

Es wird also von allen Beobachtern gleichmäßig die Abnahme und das Verschwinden der Minenkrankheit im Laufe des Minenkriegs constatirt.

Bringen wir damit die Ursache der Minenkrankheit in Verbindung, so führen Josephson und Rawitz, wie bereits erwähnt, diese auf eine Schwefelwasserstoff-, Scheidemann auf eine Kohlendunst-Vergiftung zurück. Der letztere stellt in seiner Abhandlung die Erscheinungen der Minenkrankheit nach Josephson, Rawitz und seinen Beobachtungen, jene der Kohlendunst-Vergiftung nach Siebenhaar und Lehmann und jene der Latrinengas-Vergiftung nach Hallé, Orfila u. A. in ein Tableau[1]) zusammen und führt als Resultat der Vergleichung nachstehende wesentliche Unterschiede der Minenkrankheit von einer Schwefelwasserstoff-Vergiftung an: bei der letzteren ist 1) „der bei der Minenkrankheit nie fehlende charakteristische Stirnschmerz entschieden nicht constant; 2) es treten bei ihr viel heftigere Erscheinungen der Magen- und Darmreizung auf; 3) Convulsionen sind auch bei ihrer leichtesten Form vorhanden und gehen der Asphyxie stets voran; 4) der Puls ist bei ihr klein und schwach, bei der Minenkrankheit groß und voll; 5) die Haut ist stets kalt; 6) die Genesung geschieht viel langsamer als bei der Minenkrankheit."

1) l. c. S. 16.

Die in dem Tableau aufgeführten Unterschiede zwischen einer Latrinengas- (Schwefelwasserstoff-) und einer Kohlendunst-Vergiftung wollen mir jedoch weder so charakteristisch erscheinen, noch zwingend für den Schluß, daß nicht der Schwefelwasserstoff, sondern nur das Kohlenoxyd der Hauptfactor der Minenkrankheit sei. Scheidemann[1]) scheint diese Ansicht zu theilen, denn er legt „auf die Differenzen der geschilderten Symptome kein allzu großes Gewicht, sondern findet das Hauptmoment zur Begründung seiner Ansicht, daß das Schwefelwasserstoffgas weder die alleinige noch die vorzüglichste Ursache der Minenkrankheit sei in der Thatsache, daß dieselbe ebenso oft, ja noch häufiger und unter den heftigsten Erscheinungen in solchen Minen auftritt, in denen mit Schießbaumwolle gesprengt wurde, wo also Schwefelwasserstoff gar nicht vorhanden ist.“ Unter solchen Umständen räumt Scheidemann den Krankheitserscheinungen überhaupt keinen entscheidenden Einfluß auf die Frage nach der wahren Ursache der Minenkrankheit ein. Denn nicht, weil die Erscheinungen der Minenkrankheit eine Vergiftung durch Schwefelwasserstoff ausschließen, sondern weil die Pulvergase nach den neueren Analysen nur geringe Mengen Schwefelwasserstoff enthalten und die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung dieses Gases aus den Verbrennungsrückständen des Pulvers gering ist und weil dasselbe in den Schießwollgasen gar nicht vorhanden sein kann, erklärt sich Scheidemann gegen die Ansicht von Rawitz. Man sieht, es spielt hier der glückliche Zufall, daß in Graudenz Minen mit Schießbaumwolle gesprengt wurden, bei der Beurtheilung der Krankheitserscheinungen die Hauptrolle.

Wenn nun Scheidemann[2]) an einer anderen Stelle zu dem Schluß kommt, „daß die Minenkrankheit als eine Vergiftung anzusehen sei, deren Hauptfactor das in der eingeathmeten Luft enthaltene Kohlenoxyd sei, zu der aber auch der Reichthum an Kohlensäure, sowie die Verminderung des Sauerstoffgehalts, in den Schießpulverminen wohl auch der Schwefelwasserstoff der eingeathmeten Luft beitrage und hieraus sich die vollkommene Uebereinstimmung der Erscheinungen der Minenkrankheit mit denen der Kohlendunstvergiftung erkläre“; so sind es wieder nicht die Krankheitserscheinungen, welche die Anwesenheit des Kohlenoxyds als Hauptfactor voraussetzen, sondern es ist die durch die chemische Analyse bekannte Zusammensetzung der Pulvergase, in denen

1) l. c. S. 17.
2) l. c. S. 25.

nicht unbeträchtliche Mengen Kohlenoxyd gefunden worden sind. Es liegt hier dieselbe petitio principii vor, wie bei der Annahme einer Schwefelwasserstoff-Vergiftung, denn nach dem, was Scheidemann über die Wirkung der Kohlensäure und des verminderten Sauerstoffgehalts sagt, lassen sich mit demselben Recht auch diese Momente als Hauptfactoren der Minenkrankheit anführen.

Auch Eulenberg[1]) schickt seiner Besprechung der Minenkrankheit die chemischen Analysen der Pulvergase voraus und zieht aus ihnen den Schluß, daß sich eine an Kohlenoxyd reiche Atmosphäre in den Minen bilden und daß bei Benutzung des Preußischen Schießpulvers zu Minensprengungen unter den gasförmigen Verbrennungsprodukten jedenfalls mehr Kohlenoxyd als Kohlensäure auftreten werde. Unter solchen Voraussetzungen darf es nicht überraschen, daß Eulenberg die Beobachtungen der Minenkrankheit von Josephson nur auf die Wirkung des Kohlenoxyds zurückführt, obwohl er andererseits auch meint, daß die von Rawitz beobachtete starke Schweißbildung und der der Trunkenheit ähnliche Zustand dafür sprächen, daß in diesen Fällen die Kohlensäure in den Pulvergasen reichlich vertreten gewesen sei.

Ich muß es nun der Beurtheilung der Sachverständigen überlassen, in wie weit die vorliegenden Beobachtungen der Minenkrankheit zu einem Schluß auf ihre wahre Ursache berechtigen, ob der Schwefelwasserstoff, das Kohlenoxyd oder vielleicht nur die Kohlensäure und der verminderte Sauerstoffgehalt in den Minengasen die Krankheitserscheinungen befriedigend erklären. Bis jetzt bewegt sich die Controverse nur zwischen dem Schwefelwasserstoff und dem Kohlenoxyd, die beiden letzteren Momente sind noch wenig in Rechnung gezogen worden, obwohl nach Friedberg[2]), im Gegensatz zu den Ansichten von Eulenberg, „das Einathmen einer Luft, in welcher nur 3 pC. Kohlensäure enthalten sind, für den Menschen lebensgefährlich werden und bei einem Gehalte von 10 pC. der Tod schnell eintreten kann" und nach Orfila ein Erwachsener schon getödtet wird, wenn die Luft nur den vierten Theil ihres Sauerstoffs verloren hat. Nach demselben Forscher wird die atmosphärische Luft bei Verlust von $^1/_{10}$ oder $^1/_{12}$ ihres Sauerstoffgehalts schon ein irrespirables Element, welches gefährliche Zufälle veranlassen kann.

1) l. c. S. 112 und 129 ff.

2) Friedberg, die Vergiftung durch Kohlendunst. Berlin 1866. S. 19,

Wenn wir nun die Erfahrungen des täglichen Lebens über die alljährigen Verheerungen der Kohlendunst-Vergiftung und der durch sie bewirkten Todesfälle, sowie die lebensgefährlichen Symptome, welche nach den gewiegtesten Beobachtern schon geringe Mengen von Kohlenoxyd hervorzurufen im Stande sind, mit den bereits erwähnten Thatsachen zusammenhalten, daß noch kein Todesfall durch Minenkrankheit bekannt geworden und daß diese Krankheit im weiteren Verlaufe des Minenkriegs an Intensität verliert und allmälig verschwindet, während die Entwicklung der krankmachenden Ursache, der Pulvergase, in steigender Progression zunimmt — in Neisse wurden auf beschränktem Raume nicht weniger als cc. 24000 Pfund Pulver während des Minenkriegs vergast —; so folgt daraus mit Nothwendigkeit, daß die Pulvergase im Verlaufe des Minenkriegs in ihrer Zusammensetzung eine Veränderung erleiden müssen und daß das Kohlenoxyd als ätiologisches Moment nicht in allen Phasen des Minenkriegs die Rolle spielen könne, welche ihm von einigen Seiten zuertheilt wird.

Die von der Wissenschaft gebotenen Mittel, das Kohlenoxyd in dem Blute Minenkranker direct nachzuweisen, sind bis jetzt nicht benutzt worden, obwohl die charakteristische Veränderung der Farbe des Bluts durch Kohlenoxyd bereits vor dem Jahre 1862 wohl bekannt war. Seit 1865 ist die von Hoppe-Seyler angegebene spectroskopische Untersuchung des Bluts für die Nachweisung eingeathmeten Kohlenoxyds von der größten Bedeutung geworden. Hoppe-Seyler[1]) entdeckte, daß durch Wasser stark verdünntes sauerstoff- ebenso wie kohlenoxydhaltiges Blut im Spectroskop zwei dunkle Streifen bei den Frauenhofer'schen Linien D und E zeigt und daß durch Zusatz von Schwefelammonium bei sauerstoffhaltigem Blut nach einigen Minuten nur noch ein dunkler Absorptionsstreifen in der Mitte zwischen den beiden Linien D und E erscheint, während bei kohlenoxydhaltigem Blute durch Zusatz von Schwefelammonium die beiden Absorptionsstreifen bei D und E nicht verschwinden. Die geringe, zur Anstellung dieser Versuche nothwendige Blutmenge wird wohl ohne Gefährdung der Minenkranken zu beschaffen sein.

Auch die bei Vergiftung durch Kohlenoxyd eintretende und von Bernard zuerst beobachtete Zuckerbildung im Harn dürfte, da sie

1) Zeitschrift für analytische Chemie. 3. Jahrgang. S. 439.

wiederholt bestätigt worden ist, den directen Nachweis eingeathmeten Kohlenoxyds gestatten. Dem Vertreter der Ansicht, daß das Kohlenoxyd der Hauptfactor der Minenkrankheit sei, steht somit hinreichendes Material zu Gebot, um den directen Beweis für seine Ansicht zu führen.

Unter allen Umständen halte ich jedoch die Ansicht aufrecht, daß weder die vorhandenen chemischen Analysen der Pulvergase, noch auch die bisherigen Beobachtungen der Minenkrankheit uns Auskunft über die Zusammensetzung und chemische Natur der Minengase und damit Aufschluß über die wahre Ursache der Minenkrankheit geben können. Das Studium der bei der Explosion einer Mine sich vollziehenden chemischen und physikalischen Prozesse und die directe Analyse der Minengase tritt daher als wichtiges Moment in den Vordergrund.

## Das Aufsammeln der Minengase und die Versuchs-Mine.

Das Aufsammeln der Minengase während des Minenkriegs konnte mit Erfolg nur in den Gallerien des Vertheidigers geschehen, weil die von demselben angelegten Quetschminen vorzugsweise eine Ansammlung der Pulvergase in den Gallerien gestatteten, während die von dem Angreifer gesprengten Trichter diesen Gasen sofort einen Ausweg in die Atmosphäre verschafften. Das Minenlogement des Vertheidigers ging überdieß von einem massiven Blockhaus und gemauerten Hauptgallerien aus, in denen allein die zum Theil gläsernen Apparate sicher aufgestellt werden konnten. Die beiden am Haupteingange befindlichen großen Ventilatoren, Cylindergebläse, machten es zu gleicher Zeit möglich, Gase aus entfernteren Gallerien zu sammeln.

Die Rolle, welche der Erdboden und das Verdämmungs-Material bei der Absorption der Pulvergase spielt, war völlig unbekannt und a priori durchaus nicht festzustellen. Nach vielfachen Aeußerungen von Offizieren und Aerzten treten die häufigsten und schwersten Erkrankungen beim Aufräumen der Gallerien und beim Zurückarbeiten des Verdämmungs-Materials ein, und die Ansicht, daß das letztere die Pulvergase verändere und besonders schädliche Gase aus sich entwickele, wurde oft von mir gehört. Unter diesen Umständen war es von Wichtigkeit, das verschiedene Verdämmungs-Material, Rasen, Luftziegel

und Sand auf seinen Gasgehalt zu untersuchen, so wie auch die Zusammensetzung des zu den Minensprengungen verwandten Pulvers festzustellen war.

Der Apparat für das Aufsammeln der Minengase war nach den von Bunsen in seinen „Gasometrischen Methoden"[1]) aufgestellten Principien construirt. Er ist in Fig. 1 der beiliegenden Tafel III gezeichnet. a ist ein Aspirator von 21,4 Liter Inhalt, welcher mit Wasser gefüllt wurde. In den Flaschen b und c war bald Kalilauge, bald alkoholische Kalilösung oder ein anderes, dem jedesmaligen Versuche entsprechendes Absorptionsmittel vorhanden. d und e waren Sammelröhren für das Gas, f ein kürzerer oder längerer, oft 50 Fuß langer Schlauch von vulcanisirten Caoutschouk, welcher vor seiner Anwendung wiederholt mit verdünnter Kalilauge digerirt und sehr sorgfältig ausgewaschen war. Die Verbindung der einzelnen Theile war luftdicht, und wurde kein Versuch früher begonnen, bevor diese Ueberzeugung nicht gewonnen worden war. Es ist klar, daß wenn der Hahn h geöffnet wurde, das ausfließende Wasser des Aspirators a durch Luft ersetzt wurde, welche ihren Weg durch den Schlauch f, die Sammelröhren und die beiden Kölbchen nehmen mußte. Die Kölbchen b und c und der Hahn h gestatteten jede beliebige Regulirung des Gasstroms, welchen man gewöhnlich mit einer Schnelligkeit von 3—4 Blasen in der Sekunde durch das in den Kölbchen enthaltene Absorptionsmittel gehen ließ. Da die gläsernen Sammelröhrchen, von ungefähr 50—100 CC. Inhalt unmittelbar mit dem langen Schlauch in Verbindung standen, welcher die Gase aus den Gallerien holte, so gelangte in dieselben nur Gas von der ursprünglichen Zusammensetzung, während die Kölbchen b und c ebensowohl zur Anstellung qualitativer Versuche dienen konnten, als sie auch zur Absorption von größeren Mengen Gas benutzt wurden, welche durch das aus dem Aspirator ausfließende Wasser stets genau gemessen werden konnten. In dem Glasrohr bei g wurden stets Lackmus-, Curcuma- oder mit Bleilösung getränkte Papierstreifen eingeschaltet, letztere natürlich nur, wenn keine quantitative Bestimmung des Schwefelwasserstoffs beabsichtigt wurde.

Das Aufsammeln der Gase während des Minenkriegs geschah,

---

1) Gasometrische Methoden. Braunschweig, b. Vieweg & Sohn. 1857. S. 1 ff.

indem das Ende des Schlauchs entweder unmittelbar vor Ort der gesprengten Gallerie gebracht oder in geeigneter Weise mit den vor dem Minenlogement aufgestellten Ventilatoren in Verbindung gesetzt wurde. Diese waren ebensowohl zum Saugen eingerichtet als sie gestatteten, einen Strom frischer Luft in die Gallerie hineinzutreiben. Ihre Leitungsröhren waren von Zink, an den Verbindungsstellen jedoch nicht luftdicht schließend. Ihre Enden wurden stets nach den Têten hin verlegt, in denen Sprengungen vorgenommen werden sollten. In ein am Eingang der Gallerie befindliches Rohrstück dieser Leitung hatte ich einen Gashahn einsetzen lassen, mit diesem brachte ich durch einen kürzeren Schlauch meinen Aspirator in Verbindung und setzte diesen in Thätigkeit, wenn der große Ventilator zum Saugen gestellt war.

Ich überzeugte mich bald, daß das Auffammeln der Gase seine großen Schwierigkeiten hatte, weil ich die Bedingungen, unter denen es geschehen mußte, nicht frei beherrschen konnte. Die militärischen Rücksichten der Vertheidigung standen und mußten natürlich immer in erster Reihe stehen, sie durften keinen Augenblick von anderen Maßnahmen unterbrochen werden, so sehr man auch von allen Seiten meine Arbeit mit Interesse verfolgte und mit Zuvorkommenheit bemüht war, meine Wünsche zu erfüllen. Das Aufstellen der Apparate in den niedrigen Seitengallerien in unmittelbarer Nähe der gesprengten Têten wurde mehrere Male versucht und einmal mit Glück ausgeführt, aber es hinderte regelmäßig den dienstlichen Verkehr nach jenen Richtungen hin, und die Apparate waren der beständigen Gefahr des Zerbrechens ausgesetzt. Es wurde daher das Auffammeln der Gase aus dem Ventilator vorgezogen, aber auch hier stellten sich eigenthümliche Schwierigkeiten entgegen. Im Anfange des Minenkriegs war das Röhrensystem der Ventilatoren unversehrt, es führte bis an die gesprengten Têten heran, und man konnte überzeugt sein, daß das Gas unmittelbar vom Ort gesaugt wurde. Später als eine Anzahl Têten gesprengt und durch die Trichter des Angreifers ein Theil der Ventilator-Röhren zerstört war und Quetschminen an verschiedenen von einander entfernt liegenden Têten oft zu gleicher Zeit gesprengt wurden, da war die Gewißheit, für mich wenigstens, nicht mehr vorhanden, ob auch die Röhrenenden der Ventilatoren wirklich bis vor die Verdämmung der gesprengten Gallerie reichten oder ob sie bereits in einiger Entfernung vor ihnen mündeten. Die Ventilatoren selbst wirkten beim Saugen sehr kräftig und veranlaßten natürlich Gegenströmungen,

welche bei den oft großen Temperaturverschiedenheiten der äußeren und der Luft der Minengänge nicht ein Nachrücken einer dem ganzen Querschnitt der Mine entsprechenden Luftmasse zur Folge hatten, sondern wahrscheinlich Luftsäulen von kleinerem Durchmesser in Bewegung setzten, und so der Fall leicht eintreten konnte, daß schon kurze Zeit nach der Explosion der Quetschmine die Ventilatorgase nicht mehr die wahre Zusammensetzung der vor Ort befindlichen Gase ausdrückten.

Obwohl ich während des Minenkrieges den größten Theil des Tages in dem Minenlogement zubrachte, so war es mir doch nicht immer möglich, beim Sprengen der Quetschminen zugegen zu sein. Einmal ließ sich diese Zeit nicht immer vorher bestimmen und dann trafen auch viele Explosionen während der Nacht. Der Vertheidiger ging endlich von dem Grundsatz aus, nur im äußersten Falle die Verdämmung einer Quetschmine zurück arbeiten zu lassen, weil erfahrungsgemäß dabei die meisten Minenkranken erhalten wurden, sondern er ging, um dieß zu vermeiden, lieber neben der gesprengten Gallerie vor. Minenkranke waren daher in der That mit Ausnahme der ersten Tage des Minenkriegs auch nur in geringer Anzahl vorhanden. So sehr daher dieses Verfahren des Vertheidigers durch den Erfolg gerechtfertigt erschien, so war es doch nicht günstig für das Sammeln der Gase, da diese stets durch die atmosphärische Luft der Gallerien stark verdünnt erhalten wurden, während die Gase der Verdämmung, deren besonders schädliche Wirkung allseitig anerkannt war, vom directen Sammeln ganz ausgeschlossen blieben und Verdämmungs-Material aus dem Explosionsherde nur selten erlangt werden konnte.

Der Einfluß aller dieser Verhältnisse zeigte sich recht deutlich in der Zusammensetzung der während des Minenkrieges gesammelten Gase. Die Zeit während desselben konnte vorzugsweise nur zum Sammeln der Gase benutzt werden. Da diese in Glasröhren eingeschmolzen vor jeder Veränderung sicher waren, so konnte die Analyse in jeder beliebigen späteren Zeit gemacht werden. Auch nimmt diese so viel Zeit in Anspruch, daß es unmöglich war, sofort oder auch selbst nach einigen Tagen die Natur und Zusammensetzung der aufgefangenen Gase zu beurtheilen. Daher kam es, daß, als die Analyse der ersten Auffammlungen ein den vermutheten Verhältnissen entsprechendes Resultat gegeben hatte, das Auffammeln ohne weitere augenblickliche Analysen fortgesetzt wurde, und es sich dann erst weit später herausstellte, wie sehr die in Vorstehendem besprochenen Verhältnisse

auf die Qualität der gesammelten Gase von Einfluß gewesen waren. Mit Ausnahme der in den ersten Tagen gesammelten Gase zeigen, wie aus beiliegender Tabelle hervorgeht, die meisten Analysen eine so bedeutende Beimischung von atmosphärischer Luft, daß z. B. das unter Nr. 10 der Tabelle aufgeführte Gas nur normale atmosphärische Luft darstellt.

Diese während des Minenkriegs bei dem Aufsammeln der Gase gemachten Erfahrungen und die sich daran knüpfenden Erwägungen ließen es mir ebenso wünschenswerth als nothwendig erscheinen, in irgend einer Weise diese, meine Arbeit hindernden Momente zu eliminiren. Dieß konnte wirksam nur durch eine eigends zum Zweck dieser Untersuchung angelegte und gesprengte Mine geschehen. Meine Ansichten und Wünsche erhielten die Zustimmung des General von Schweinitz, es wurde in Folge dessen nach Beendigung des Minenkriegs die Sprengung einer Quetschmine befohlen und mir völlig freie Hand in der Benutzung derselben gelassen. Damit war die günstige Gelegenheit für die Beantwortung der hier einschlagenden Fragen geboten und es war namentlich nur auf diese Weise möglich, den Einfluß des Verdämmungs-Materials auf die Gase während mehrerer Tage zu studiren.

Um die Pulvergase unmittelbar aus dem Explosionsherde und möglichst frei von atmosphärischer Luft zu erhalten, ließ ich ein schmiedeeisernes Gasleitungsrohr von $^3/_8$" innerem Durchmesser in der hiesigen Gasanstalt aus mehreren Stücken zusammensetzen, um es in die engen Gallerien schaffen zu können. Hier sollte das zusammengeschraubte und in seinen einzelnen Stücken durch dazwischen liegenden Kitt luftdicht verbundene Rohr durch die Verdämmung hindurch bis in die Pulverkammer geführt werden. Am 4. September c. wurde die Versuchsmine, deren Lage aus dem Plan-Direkteur ersichtlich ist, geladen. Herr Lieutenant von Scheve, welcher dabei thätig war und auch die Güte hatte, mir in der, auf Tafel III Fig. 3 und 4 enthaltenen Skizze die Größenverhältnisse der Versuchsmine und ihrer Verdämmung anzugeben, überwachte mit großer Sorgfalt die Legung des eisernen Rohrs, dessen offnes Ende durch die Wand des Pulverkastens bis in das Pulver hinein ragte. Ich ging bei dieser Anordnung von der Voraussetzung aus, daß auf diese Weise am besten einer nur zu leicht möglichen Verstopfung des Rohrs durch Erde 2c. vorgebeugt werden könne, eine Ansicht, welche in der That auch durch den Erfolg

als richtig sich erwies. Das eiserne Rohr war cc. 44′ lang, war zweimal rechtwinklich gebogen und mündete in die Hauptgallerie bei g, wo es während der Explosion mit einem fest eingeschraubten Gashahn verschlossen war. Mit dem Ansatz desselben war durch einen Caoutschoukschlauch der Aspirator verbunden und zwischen beiden die bereits beschriebenen Apparate eingeschaltet. Die Verdämmung bestand, wie die Skizze zeigt, unmittelbar vor dem Pulverkasten aus cc. 3′ Rasenstücken, hierauf folgten 3′ Luftziegel, hinter welchen eine 6″ starke Schicht Holzkohlen eingeschaltet war, um damit einen von Dr. Herzfeld vorgeschlagenen Versuch zu wiederholen. Auf die Kohle folgte Scheitholz, Sandsäcke und wieder Scheitholz, so daß der Durchmesser der gesammten Verdämmung cc. 13′ betrug. Die Mine war mit 30 Pfund Pulver geladen und die Explosion wurde in gewohnter Weise durch den Funken des bereits erwähnten Inductors herbeigeführt. Das Rohr vor der Verdämmung blieb unversehrt, aber auch der in der Verdämmung liegende Theil war bis auf die vordersten drei Fuß, welche weggeschleudert worden waren, ganz und in seinen einzelnen Theilen dicht verbunden, wie sich bei dem Aufräumen der Mine herausstellte. Es ragte das Ende des unversehrten Rohrs also grade aus der Luftziegelschicht in den Rasen hinein, und die durch dasselbe gesammelten Gase waren daher die unmittelbar durch die Explosion entstandenen und die von der Verdämmung aufgesaugten und später wieder abgegebenen Gase.

Es wurden am 4. September unmittelbar nach der Explosion zwei Sammelröhren mit Gas gefüllt und mit Nr. I bezeichnet. Unmittelbar darauf wurden noch zwei Sammelröhren eingeschaltet und mit Nr. II bezeichnet. Die Füllung dieser vier Röhren geschah in der ersten Viertelstunde nach der Explosion. Am Nachmittag desselben Tages wurden wieder zweimal je 2 Röhren gefüllt und mit III und IV bezeichnet. Am 5. September Nachmittags 3 Uhr wurden wieder zwei Röhren gefüllt und mit Nr. V bezeichnet; ein Gleiches geschah am 6. September, wo zwei Röhren (Nr. VI) und am 8. September, wo die letzten zwei Röhren (Nr. VII) gefüllt wurden. Am 9. September[1]) wurde die Mine in meiner Gegenwart aufgeräumt und das eiserne Rohr, wie schon bemerkt, bis auf die vordern drei Fuß unversehrt gefunden. Von dem Rasen, den Luftziegeln und den Holz-

1) Dienstliche Rücksichten verhinderten die frühere Aufräumung der Mine.

kohle wurden geeignete Mengen zur Bestimmung der in ihnen enthaltenen Gase gesammelt. Ein Theil wurde sofort in die dazu bestimmten Apparate gebracht, ein anderer in wohl verschlossenen Glasgefäßen aufbewahrt. Von dem zum Laden der Mine verwandten Pulver wurde eine kleine Quantität für die Analyse zurückgestellt.

## Chemische Untersuchung der Minengase.

Als ich am 16. August zum erstenmal nach der Explosion einer Quetschmine die Minengallerie betrat, nahm ich einen eigenthümlichen, schwachen Geruch nach einer Schwefelverbindung wahr, und dieß war auch der Fall bei der Luft, welche dem zum Saugen gestellten Ventilator entströmte. Der Geruch erinnerte zwar an Schwefelwasserstoff, ,war aber nur jener schwachen Schwefelwasserstoff-Entwicklung vergleichbar, welche in Zimmern wahrgenommen wird, in denen Kohl, harte Eier oder Stockfisch servirt worden sind, deren Ausdünstungen in der That den charakteristischen Minengeruch ziemlich treu wiedergeben. Hier wie dort werden silberne Tressen, Knöpfe und Uhren schwach gebräunt. Dieß geschah auch bei einem mit Bleiessig getränktem Papier in dem Luftstrom des Ventilators. Es wurde nun der Schlauch des Aspirators mit dem Rohr des Ventilators in Verbindung gebracht und in den Gasstrom ein Kölbchen mit Bleilösung eingeschaltet. Die Lösung wurde durch die Kohlensäure des Gases getrübt und färbte sich langsam grau, zeigte also nur Spuren von Schwefelwasserstoff an. Die Anwesenheit dieses Gases war daher zweifellos.

Zur quantitativen Bestimmung des Schwefelwasserstoffs wurden die beiden Kölbchen b und c Fig. 1 mit reiner, vorher durch Jodlösung geprüfter Natronlauge (die beiden ersten Tropfen $^1/_{100}$ Jodlösung färbten die mit reiner Salzsäure übersättigte Natronlauge blau), gefüllt, dann die beiden Sammelröhren d und e (Fig. 1), welche ungefähr je 60 CC. faßten und an beiden Enden beim Uebergange des engen Rohrs in das weitere noch mehr verengt waren, eingeschaltet. In das Röhrchen g wurde Lackmus und Curcumapapier gebracht. Nun wurde der Hahn f geöffnet und ein langsamer Gasstrom durch den Apparat geleitet, während der Ventilator in Thätigkeit war.

Nachdem man überzeugt sein konnte, daß die atmosphärische Luft in den Röhren des Apparats durch die Minengase ersetzt worden sei, wurde die Verbindung der beiden Sammelröhrchen mit dem Gummischlauch durch einen Bunsen'schen Quetschhahn geschlossen. Man ließ nun das Wasser des Aspirators noch einige Sekunden ausfließen, um das Gas in den Sammelröhrchen etwas zu verdünnen und schloß dann auch die Verbindung der Sammelröhrchen unter einander und mit dem Aspirator durch zwei Quetschhähne. Die Röhren wurden von dem Aspirator getrennt und mit einem nach Bunsen construirten Löthrohr an den verengten Stellen zugeschmolzen, bezeichnet und für die spätere Analyse bei Seite gelegt. Nach Einschaltung von zwei anderen Sammelröhren ließ man das Wasser des Aspirators vollständig ausfließen, um ein Maaß für das durchgegangene Gas zu erhalten.

In Beziehung auf die Absorption des Schwefelwasserstoffs muß ich hier einer Fehlerquelle gedenken, welche sich nicht umgehen ließ, aber auch für den Hauptzweck dieser Untersuchung kaum ins Gewicht fällt. Sie wird dadurch hervorgerufen, daß das Gas Metall- und Cautschoukröhren passiren mußte und dadurch ein geringer Verlust an Schwefelwasserstoff entstehen konnte. Der Ersatz dieser Röhren durch Glasröhren war in dem gegebenen Falle, wo es sich um so lange Leitungen handelte, gradezu unmöglich.

In dem eben beschriebenen Versuche waren 18,5 Liter Wasser aus dem Aspirator abgeflossen und gemessen worden, es waren daher ebensoviel Litr. Gas durch die Kölbchen mit Natronlauge hindurch gegangen. In das Kölbchen b wurden 3 CC. und in c 10 CC. titrirte $^1/_{10}$ arsenigsaure Natronlösung gebracht und nach dem Umschütteln der Inhalt mit Salzsäure übersättigt und 24 Stunden ruhig bei Seite gesetzt. Es entstand in beiden Fällen keine Färbung oder ein Niederschlag. Die Lösung jedes einzelnen Kölbchens wurde zu 300 CC. verdünnt, dann filtrirt und 100 CC. davon nach Uebersättigung der freien Salzsäure mit doppelt kohlensaurem Natron und Zusatz von Stärkelösung mit $^1/_{100}$ Jodlösung, welche auf das arsenigsaure Natron gestellt war, zurücktitrirt. Es wurden bei dem Inhalt des Kölbchens c bis zum Blauwerden der Lösung 33,4 CC. Jodlösung verbraucht. Dieß macht auf die Gesammtmenge 100,2 CC. $^1/_{100}$ Jodlösung und diese entsprechen 10 CC. $^1/_{10}$ arsenigsaurer Natronlösung. Es hatte sich also kein Schwefelarsen gebildet und somit war eine bestimmbare

Menge Schwefelwasserstoff in dem gemeßnen Gase nicht vorhanden. Es erübrigte daher die Titrirung des Inhalts des Kölbchens b.

An demselben Tage wurde noch eine zweite Quetschmine gesprengt. Es wurde versucht, den ganzen Apparat unmittelbar vor Ort zu bringen. Einem Mineur gelang es, den Schlauch bis an die Verdämmung heranzubringen, er wurde jedoch bewußtlos und ebenso wurden zwei andere Mineure, welche ihm zu Hilfe eilten, in gleichem Zustande aus der Gallerie herausgebracht. Der Schlauch war jedoch liegen geblieben, und der Aspirator wurde unmittelbar vor der betreffenden Ecoute in Thätigkeit gesetzt. Geruch nach Schwefelwasserstoff war kaum vorhanden, Bleipapier wurde nicht merklich verändert. Der Apparat wurde sich selbst überlassen, nach einiger Zeit die Hähne geschlossen, dann die Sammelröhrchen abgeschmolzen und in der Natronlauge in derselben Weise, wie vorher geschildert, der Schwefelwasserstoff zu bestimmen versucht. Auch diesmal konnten nur Spuren, aber keine wägbare Menge dieses Körpers nachgewiesen werden.

In gleicher Weise wurde in allen übrigen Fällen verfahren und stets nach Schwefelwasserstoff gesucht; er konnte jedoch nur ein einziges Mal quantitativ bestimmt werden. Am 23. August Abends 6½ Uhr unmittelbar nach dem Sprengen einer Quetschmine wurde Gas aus dem Ventilator gesaugt. Es machte sich ein stärkerer Geruch als gewöhnlich bemerkbar und Bleipapier wurde rascher gebräunt. Man ließ 21,4 Litr. Gas durch die Kölbchen hindurchgehen. Der Inhalt des Kölbchen c wurde mit 4 CC. $\frac{1}{10}$ arsenigsaurer Natronlösung versetzt und weiter wie oben verfahren. Zum Zurücktitriren wurden zwei Mal 37,5 CC. $\frac{1}{100}$ Jodlösung gebraucht. In 21,4 Litr. Gas waren demnach 0,001275 gr. = 0,83 CC. Schwefelwasserstoff = 0,004 Volum-Procente enthalten.

Bei der Versuchsmine wurde mit besonderer Sorgfalt nach Schwefelwasserstoff gesucht, aber es gelang nicht ein einziges Mal, ihn quantitativ zu bestimmen. Unmittelbar nach der Explosion drang zwar Pulverrauch in die Hauptgallerie, welcher Bleipapier schwärzte, aber bei der weiteren Aufsammlung dieses Gases wurde diese Erscheinung nicht mehr beobachtet, während sie an den darauf folgenden Tagen in erhöhtem Grade eintreten mußte, wenn die Ansicht von Rawitz, daß vorzugsweise die Verdämmung der Herd der Schwefelwasserstoffbildung und Entwicklung sei, richtig war. Die in das Röhrensystem eingeschalteten Bleipapiere wurden nie verändert, dagegen

Lackmuspapier mehr als einmal schwach geröthet, Curcumapapier nie gebräunt.

Immer und überall machte sich jedoch der eigenthümliche, oben beschriebene Minengeruch bemerkbar, namentlich auch bei dem Oeffnen der Kölbchen und in der Luft des Aspirators. Es lag die Vermuthung nahe, daß er geringen Mengen von Schwefelkohlenstoff seine Entstehung verdanken könne. Es wurde daher in mehreren Versuchen und namentlich bei der Versuchsmine ein Kölbchen mit einer Auflösung von Kalihydrat in absoluten Alkohol zur Absorption des Schwefelkohlenstoffs beim Sammeln der Gase eingeschaltet. Es konnte jedoch nach beendigtem Versuch in der Kalilösung durch schwefelsaures Kupfer nicht der charakteristische zeisiggelbe Niederschlag von xanthogensaurem Kupfer erhalten werden. Diese von Vogel[1]) vorgeschlagene Reaction ist sehr empfindlich, ihr Ausbleiben sprach für die Abwesenheit des Schwefelkohlenstoffs. Das von Hoffmann[2]) als empfindlichstes Reagenz auf Schwefelkohlenstoff empfohlene Triäthylphosphin stand mir nicht zu Gebot und war in der mir kurz zugemessenen Zeit nicht darzustellen.

Einige Male wurde verdünnte Schwefelsäure in den Apparat eingeschaltet, um etwa vorhandenes Ammoniak zu binden. Dieses konnte jedoch nur in Spuren durch die empfindliche Reaction mit Quecksilberchlorid und kohlensaurem Kali nachgewiesen werden.

Cyan, schweflige Säure und Stickoxyd waren in nachweisbarer Menge nicht vorhanden. Nach Bunsen[3]) lassen sich noch einige Tausendstel dieser Gase durch Geruch und Geschmack entdecken. Saugt man die Minengase mit dem Munde auf, so sind sie fast geschmacklos und läßt man sie durch die Nase entweichen, so bemerkt man nicht den geringsten Geruch nach den in Rede stehenden Gasen. Ebensowenig zeigten sich beim Ausströmen der Gase in die Luft rothe Dämpfe oder konnte Cyan in den Kölbchen mit Kalilauge nachgewiesen werden. Schweflige Säure und Schwefelwasserstoff schließen sich übrigens in ihrem Auftreten unter Bildung von Pentathionsäure gegenseitig aus.

Endlich war es noch denkbar, daß, veranlaßt durch arsenhaltigen Schwefel des Pulvers, sich zwar nicht unmittelbar nach der Explosion wohl aber später aus der Verdämmung Arsenwasserstoff entwickeln

1) Liebig, Annalen B. 86 S. 369.
2) Ebendaselbst B. 115 S. 296.
3) Poggendorf, Annalen B. 102. S. 334.

könne. Um auch dieser Besorgniß durch das Experiment entgegen zu treten, wurde mehr als einmal ein Kölbchen mit einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd eingeschaltet, wie auch das Gas der Versuchsmine längere Zeit durch ein zum Glühen erhitztes Glasrohr geleitet. Es konnte nicht die geringste Spur eines Arsenspiegels erhalten oder in der Silberlösung arsenige Säure nachgewiesen werden.

Aus allen diesen Versuchen geht hervor, daß in den Minengasen weder Cyan, noch Schwefelkohlenstoff oder schweflige Säure, Stickoxyd und Arsenwasserstoff in nachweisbaren Mengen vorhanden waren, daß Ammoniak nur in geringen Mengen nachgewiesen werden konnte und daß die Anwesenheit des Schwefelwasserstoffs zwar constatirt wurde, derselbe aber in den meisten Fällen sich der quantitativen Bestimmung entzieht. Es ist bekannt, daß der Geruch das empfindlichste Reagenz auf Schwefelwasserstoff ist, und dieser ihn noch wahrnimmt, wenn eine Nachweisung durch andere Mittel erfolglos bleibt. Dieser Fall liegt hier vor. Der schwache eigenthümliche Minengeruch gehört höchst wahrscheinlich allein dem Schwefelwasserstoff an, obwohl der Umstand, daß er auch noch in den Gasen auftritt, welche durch Natronlauge hindurch gegangen waren, auf das Vorhandensein irgend einer anderen flüchtigen Schwefelverbindung schließen läßt. Wie dem nun auch sei, so ist die Menge des riechenden Stoffes in allen Fällen eine viel zu geringe, um einen der Gesundheit der Arbeiter schädlichen Einfluß in den Minen auszuüben. Er belästigt unter Umständen die Nase und wirkt, weil er die einzige unmittelbar greifbare Schädlichkeit der Minengase ist, mehr auf die Phantasie der Arbeiter als auf ihren Körper ein.

### 1) Analyse der Minengase.

Die bei den zahlreichen Aufsammlungen in Glasröhren eingeschmolzenen Gase wurden wohl bezeichnet in das Laboratorium gebracht und hier nach der Methode und mit den von Bunsen[1]) für die Gasanalyse construirten Apparaten der quantitativen Analyse unterworfen. Methode und Apparate sind genau beschrieben in den „Gasometrischen Methoden“ und in der Arbeit „Die chemische Theorie des Schießpulvers von Bunsen und Schischkoff“[2]). Nachstehende

1) Gasometrische Methoden von Robert Bunsen. Braunschweig 1857.
2) Poggendorf, Annalen B. 102. S. 321.

Bemerkungen werden vielleicht genügen, um auch dem Nicht-Chemiker das eingehaltene Verfahren zu erläutern.

Behufs der Analyse wurde die Spitze eines Sammelröhrchens unter Quecksilber abgebrochen und sein Inhalt in ein Absorptionsrohr übergefüllt, dessen Wölbung vor seiner Füllung mit Quecksilber mit einem Tröpfchen Wasser benetzt worden war. Alle Ablesungen sowohl der Meßröhren wie des Barometers und Thermometers geschahen aus der Ferne mit dem Fernrohr und es lagen immer mehrere Stunden zwischen den einzelnen Beobachtungen, während welcher Zeit das Laboratorium von Niemanden betreten wurde. Die Kohlensäure wurde durch eine wasserhaltige Kalihydratkugel, der Sauerstoff durch eine, mit einer concentrirten Lösung von pyrogallussaurem Kali getränkten Papiermaché-Kugel absorbirt. In allen Fällen wurde nach geschehener Absorption das rückständige Gasvolumen noch mit einer möglichst wasserfreien Kalikugel vollständig getrocknet. Das Kohlenoxyd wurde in den ersten Analysen, meist in der Absicht, um schneller sein Vorhandensein nachzuweisen, mit einer in einer chlorwasserstoffsauren Lösung von Kupferchlorür getränkten Papiermaché-Kugel und nachheriger Anwendung einer Kalikugel bestimmt, dagegen später es vorgezogen, die durch seine Verpuffung mit Sauerstoff im Eudiometer gebildete Kohlensäure zu messen. Auf die Bestimmung des Schwefelwasserstoffs in dem Gasvolumen wurde keine Rücksicht genommen, da dieses Gas, wie bereits erwähnt, selbst in großen Mengen der Minengase nicht quantitativ bestimmt werden konnte.

Nach der Absorption der Kohlensäure, des Sauerstoffs und in einzelnen Fällen des Kohlenoxyds wurde das nicht absorbirte Gasvolumen in das Eudiometer übergefüllt, feucht gemessen, dann ein gemessenes Volumen atmosphärische Luft zugefügt und elektrolytisches Knallgas stets in dem Verhältniß zugesetzt, daß sich das letztere zu dem ursprünglichen Gasvolumen plus der zugetretenen Luft ungefähr wie 100 : 40 verhielt. Durch den Versuch waren die Räume, welche gleich große Luftmengen in meinem Eudiometer einnahmen, bestimmt und aus diesen Beobachtungen eine Tabelle angefertigt worden, aus welcher der Zusatz des nothwendigen Knallgases in dem gegebenen Falle sich leicht ersehen ließ. Nach der Explosion durch den elektrischen Funken wurde die Contraction des Gasvolumens gemessen. Die gebildete Kohlensäure wurde mit einer wasserhaltigen Kalikugel weggenommen und das rückständige Gas durch eine möglichst wasserfreie

Kalikugel getrocknet und dann abgelesen. Nach Zulassung einer gemessenen Menge von völlig trocknem Wasserstoff und elektrolytischem Knallgas wurde das wohlgemischte Gasvolumen wiederum durch den elektrischen Funken entzündet und die Contraction beobachtet. Bei den zuerst ausgeführten Analysen wurde dieser Gasrückstand feucht gemessen, weil bei der geringen Menge der gebildeten Kohlensäure die Eudiometerwände so gut wie gar nicht mit Kalihydrat beschmutzt waren. Bei den Analysen der Versuchsmine wurde jedoch auch diese letzte Messung erst nach dem völligen Austrockner des Gases mit einer Kalikugel vorgenommen, und machen diese daher jedenfalls Anspruch auf eine größere Genauigkeit. Im Allgemeinen wurden alle Vorsichtsmaßregeln eingehalten, welche gute Resultate sichern konnten. Die Berechnung der Analysen geschah nach den von Bunsen angegebenen Formeln. Die beobachteten Gasvolumina wurde stets auf ihren Werth im Zustande völliger Trockenheit, sowie auf 0° Cels. und $1^m$ Quecksilberdruck reducirt.

Die in dem untersuchten Gase enthaltenen Volumina Kohlensäure und Sauerstoff ergeben sich unmittelbar durch die Absorptionsanalyse. Zur Berechnung der Menge des Wasserstoffs, Grubengases (leichter Kohlenwasserstoff), Kohlenoxyds, Stickoxydul (Lustgas) und Stickstoffs sind nachstehende Rechnungselemente nothwendig. Nennen wir mit Bunsen[1]) das Volumen des Kohlenoxyds x, das des Grubengases y, das des Wasserstoffs z, das des Stickoxyduls $n_0$, das des Stickstoffs n und das gesammte in das Eudiometer übergefüllte Gasvolumen V, so berechnet sich die Zusammensetzung dieses, in dem Eudiometer mit überflüssigen Sauerstoff verbrannten Gasvolumens aus den Gleichungen:

$$1)\ V = n + x + y + z + n_0$$

$$2)\ n = P_3 - C_1 + 2\,O - {}^2/_3\,(C + P_1) - n_1.$$

$$3)\ x = P_1 - \left(\frac{2\,P_2 - P}{3}\right)$$

$$4)\ y = \frac{2\,P_2 - P}{3}$$

$$5)\ z = P - P_1.$$

$$6)\ n_0 = C_1 - 3\,O + C + P_1.$$

In diesen Gleichungen ist P das Volumen der brennbaren Gase, $P_1$ die bei der Verbrennung gebildete Kohlensäure, $P_2$ der verbrannte Sauerstoff, $P_3$ das Gasvolumen nach der Absorption der gebildeten

1) l. c. S. 107 und Poggendorf Annalen B. 102 S. 336.

Kohlensäure, O die Gesammtmenge des zugesetzten Sauerstoffs, $n_1$ der in der zugesetzten atmosphärischen Luft enthaltene Stickstoff, C die Contraction des Gasvolumens nach seiner Verpuffung mit Sauerstoff und $C_1$ die Contraction nach Verpuffung des unverbrannten Sauerstoffs mit Wasserstoff. Die Menge der brennbaren Gase P ist $= V - n - n_0$.

Die sämmtlichen so erhaltenen Resultate wurden dann in gewohnter Weise auf 100 Theile des ursprünglich zur Analyse verwandten Gasvolumens berechnet.

## a. Analyse der Gase der Versuchsmine.

1) Sammelrohr Nr. I unmittelbar nach der Explosion der Mine gefüllt.

Absorptions-Analyse.

| | Volumtheile. | Druck. | Temperatur. | Volumen bei 0° und 1m Druck. |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen . . . . . . . . | 164,40 | 0,71984 | 13,0 | 112,96 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 155,45 | 0,72475 | 12,1 | 107,88 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 148,26 | 0,72150 | 12,3 | 102,36 |
| Nach Absorption des Kohlenoxyds | 150,05 | 0,69400 | 14,2 | 98,99 |

Bei der weiteren Untersuchung im Eudiometer wurde bei der Verpuffung mit Sauerstoff das Eudiometer zertrümmert und die Analyse der brennbaren Bestandtheile ging verloren. Nach der Heftigkeit der Explosion zu schließen schien eine etwas größere Menge Grubengas vorhanden zu sein. Das zweite zu gleicher Zeit gefüllte Sammelröhrchen war leider nach der Füllung nicht vollkommen zugeschmolzen worden, wie sich bei der Ueberfüllung seines Inhalts in das Absorptionsrohr herausstellte, daher konnte die Analyse nicht wiederholt werden.

In 100 Theilen des untersuchten Gases sind demnach enthalten:

| | | |
|---|---|---|
| 4,49 | pC. | Kohlensäure. |
| 2,98 | „ | Kohlenoxyd. |
| 4,88 | „ | Sauerstoff. |
| 87,65 | „ | Stickstoff incl. der brennbaren Gase. |
| 100,00. | | |

Wenn wir den vorhandenen Sauerstoff mit der entsprechenden Menge Stickstoff als atmosphärische Luft berechnen, so enthält das

untersuchte Gas 23,28 pC. atmosphärische Luft und 76,72 pC. Pulvergase.

2) Sammelrohr Nr. II, eine Viertelstunde später gefüllt.

Absorptions-Analyse.

| | Volumtheile. | Druck. | Temperatur. | Volumen bei 0° und 1m Druck. |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen . . . . . . . . . | 155,45 | 0,71182 | 13,7 | 105,37 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 149,53 | 0,71800 | 15,1 | 101,74 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 129,69 | 0,70875 | 11,3 | 88,33 |

Verbrennungs-Analyse nach Ueberfüllung in das Eudiometer.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen . . . . . . . . . | 126,11 | 0,30514 | 7,7 | 37,42 |
| Nach Zulassung von atmosph. Luft | 205,46 | 0,38182 | 8,3 | 76,13 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion . . . . . . . . . . | 203,37 | 0,37837 | 9,1 | 74,46 |
| Nach der Absorption der Kohlensäure | 197,37 | 0,38025 | 8,2 | 72,86 |
| Nach Zulassung von Wasserstoff . | 238,87 | 0,4195 | 9,0 | 97,01 |
| Nach Zusatz von Knallgas und der Explosion . . . . . . . . | 206,51 | 0,38275 | 10,1 | 76,22 |

Hieraus ergiebt sich:

$P = 2,086$; $P_1 = 1,600$; $P_2 = 1,183$; $P_3 = 72,86$; $O = 8,1136$; $C = 1,67$; $C_1 = 20,79$; $V = 37,42$; $n_1 = 30,596$.

und berechnet sich nach den oben angegebenen Formeln:

Kohlenoxyd = 1,507; Grubengas = 0,093; Wasserstoff = 0,486; Stickstoff = 35,33; Stickoxydul = — 0,28 also = 0.

Die bei der Verbrennung der vorstehenden Mengen Kohlenoxyd, Grubengas und Wasserstoff eintretende Contraction beträgt nach der Rechnung 1,668; durch den Versuch wurde diese (C) = 1,67 gefunden.

In 100 Theilen des untersuchten Gases sind demnach enthalten:

| | | |
|---|---|---|
| 0,20 | pC. | Grubengas. |
| 1,09 | „ | Wasserstoff. |
| 3,39 | „ | Kohlenoxyd. |
| 3,45 | „ | Kohlensäure. |
| 12,73 | „ | Sauerstoff. |
| 79,14 | „ | Stickstoff. |
| 100,00. | | |

Wenn wir den Sauerstoff als den Sauerstoff beigemischter atmosphärischer Luft ansehen, so berechnet sich diese zu 60,73 pC. Es betragen daher die eigentlichen Pulvergase 39,27 pC.

3) Sammelrohr Nr. III, acht Stunden nach der Explosion gefüllt.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen . . . . . . . . . | 151,59 | 0,7056 | 7,7 | 104,02 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 148,25 | 0,7085 | 9,1 | 101,65 |
| „ „ des Sauerstoffs | 125,89 | 0,68575 | 8,2 | 83,81 |
| „ „ des Kohlenoxyds | 125,89 | 0,6795 | 10,1 | 82,49 |
| **Verbrennungs-Analyse nach Ueberfüllung in das Eudiometer.** | | | | |
| Anfangs-Volumen . . . . . . . . . | 157,71 | 0,32346 | 9,8 | 49,24 |
| Nach Zulassung von Luft . . . . | 228,17 | 0,39159 | 10,4 | 86,07 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion . . . . . . . . . . | 226,60 | 0,38759 | 10,0 | 84,72 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 221,64 | 0,39075 | 10,5 | 83,39 |
| Nach Zusatz von Wasserstoff . . | 260,36 | 0,4285 | 10,1 | 107,58 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion . . . . . . . . . . | 227,13 | 0,39825 | 9,6 | 87,38 |

Hieraus ergiebt sich:

$P = 1,69$; $P_1 = 1,33$; $P_2 = 0,986$; $P_3 = 83,39$; $O = 7,719$; $C = 1,35$; $C_1 = 20,2$; $V = 49,24$; $n_1 = 29,11$.

und berechnet sich nach den obigen Formeln:

Kohlenoxyd = 1,236; Grubengas = 0,094; Wasserstoff = 0,360; Stickstoff = 47,55; Stickoxydul = — 0,27 also = 0.

Die bei der Verbrennung der vorstehenden Gase eintretende Contraction beträgt nach der Rechnung 1,346; durch den Versuch wurde C = 1,35 gefunden.

In 100 Theilen des untersuchten Gases sind demnach enthalten:

0,15 pC. Grubengas.
0,58 „ Wasserstoff.
3,26 „ Kohlenoxyd.
2,28 „ Kohlensäure.

17,15 pC. Sauerstoff.
76,58 „ Stickstoff.
100,00.

Wird der Sauerstoff wieder als atmosphärischer Sauerstoff angesehen, so berechnet sich die Luft zu 81,82 pC., die Pulvergase zu 18,18 pC.

Bei dieser Analyse ist noch zu bemerken, daß das Kohlenoxyd vom Kupferchlorür nicht vollständig absorbirt worden war und der Rest daher erst bei der Verbrennungsanalyse gefunden wurde.

4) Sammelrohr Nr. IV, 8½ Stunde nach der Explosion gefüllt.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperatur. | Reducirtes Volumen. |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen | 124,87 | 0,6665 | 9,8 | 80,34 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 121,58 | 0,66975 | 10,0 | 78,55 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 103,51 | 0,65325 | 9,6 | 65,32 |

Verbrennungs-Analyse nach Ueberfüllung in das Eudiometer.

| | Vol. | Druck. | Temperatur. | Reducirtes Volumen. |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen | 139,94 | 0,30609 | 10,0 | 41,32 |
| Nach Zusatz von Luft | 230,26 | 0,39534 | 10,0 | 87,81 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion | 227,39 | 0,39428 | 10,1 | 86,45 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 222,17 | 0,39975 | 12,0 | 85,07 |
| Nach Zusatz von Wasserstoff | 280,11 | 0,4560 | 12,2 | 122,27 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion | 240,70 | 0,4160 | 13,3 | 95,48 |

Hieraus ergiebt sich:

$P = 1,83$; $P_1 = 1,38$; $P_2 = 0,9643$; $P_3 = 85,07$; $O = 9,744$; $C = 1,36$; $C_1 = 26,79$; $V = 41,32$; $n_1 = 36,745$.

und berechnet sich:

Kohlenoxyd = 1,38; Grubengas = 0; Wasserstoff = 0,45; Stickoxydul = 0,30; Stickstoff = 39,19. Die berechnete Contraction C = 1,36.

In 100 Theilen sind daher enthalten:

| | | |
|---|---|---|
| 0,88 | pC. | Wasserstoff. |
| 0,58 | „ | Stickoxydul. |
| 2,22 | „ | Kohlensäure. |
| 2,72 | „ | Kohlenoxyd. |
| 16,48 | „ | Sauerstoff. |
| 77,12 | „ | Stickstoff. |
| 100,00. | | |

Auf 78,62 pC. atmosphärische Luft sind 21,38 pC. Pulvergase vorhanden.

5) Sammelrohr Nr. V, 30 Stunden nach der Explosion gefüllt.

Absorptions-Analyse.

| | Volumen. | Druck. | Temperatur. | Reducirtes Volumen. |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen | 159,81 | 0,7008 | 10,0 | 108,04 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 155,45 | 0,7105 | 12,0 | 105,80 |
| „ „ des Sauerstoffs | 134,25 | 0,68775 | 13,3 | 88,04 |

Verbrennungs-Analyse nach Ueberfüllung in das Eudiometer.

| | Volumen. | Druck. | Temperatur. | Reducirtes Volumen. |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen | 152,06 | 0,31781 | 12,7 | 46,18 |
| Nach Zulassung von Luft | 224,52 | 0,38841 | 12,9 | 83,27 |
| Nach Zusatz von Knallgas und der Explosion | 223,21 | 0,3878 | 13,4 | 82,51 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 215,64 | 0,39675 | 12,6 | 81,78 |
| Nach Zusatz von Wasserstoff | 268,90 | 0,4495 | 12,7 | 115,50 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion | 234,44 | 0,41425 | 10,7 | 93,45 |

Hieraus ergiebt sich:

$P = 0{,}99$; $P_1 = 0{,}73$; $P_2 = 0{,}534$; $P_3 = 81{,}78$; $O = 7{,}774$; $C = 0{,}76$; $C_1 = 22{,}05$; $V = 46{,}18$; $n_1 = 29{,}315$.

Durch Substitution dieser Größen in die Formeln erhält man: Stickoxydul = 0,22, Wasserstoff = 0,26, Kohlenoxyd = 0,73, Stickstoff = 44,97, Grubengas = 0.

Die bei der Verbrennung des Wasserstoffs und Kohlenoxyds eintretende Contraction beträgt nach der Rechnung 0,75; durch den Versuch wurde 0,76 gefunden.

In 100 Theilen sind demnach enthalten:

| | | |
|---|---|---|
| 0,45 | pC. | Wasserstoff. |
| 0,39 | „ | Stickoxydul. |
| 1,28 | „ | Kohlenoxyd. |
| 2,08 | „ | Kohlensäure. |
| 16,43 | „ | Sauerstoff. |
| 79,37 | „ | Stickstoff. |
| 100,00. | | |

Auf 78,33 pC. atmosphärische Luft kommen 21,67 pC. Pulvergase.

6) Sammelrohr Nr. VII, nach 5 Tagen gefüllt.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reducirt. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Ursprüngliches Volumen . . . . . | 149,53 | 0,69106 | 12,7 | 98,74 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 146,20 | 0,6875 | 12,6 | 96,08 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 120,56 | 0,68025 | 10,7 | 78,91 |
| **Verbrennungs-Analyse nach Ueberfüllung in das Eudiometer.** | | | | |
| Anfangs-Volumen . . . . . . . . | 157,20 | 0,3309 | 11,1 | 49,98 |
| Nach Zulassung von Luft . . . . | 215,64 | 0,38652 | 11,3 | 80,04 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion . . . . . . . . . . | 216,42 | 0,38378 | 10,5 | 79,98 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 212,76 | 0,39075 | 11,6 | 79,75 |
| Nach Zulassung von Wasserstoff. | 260,36 | 0,43525 | 11,9 | 108,60 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Verpuffung . . . . . . . . . | 231,56 | 0,40275 | 10,8 | 89,71 |

Hieraus ergiebt sich:

$P = 0,19$; $P_1 = 0,23$; $P_2 = 0,14$; $P_3 = 79,75$; $O = 6,30$; $C = 0,06$; $C_1 = 18,89$; $= V\ 49,98$; $n_1 = 23,76$.

Durch Substitution in die Formeln erhält man:

Stickoxydul = 0,28; Wasserstoff = 0; Kohlenoxyd = 0,23; Stickstoff = 49,5.

In 100 Theilen sind demnach enthalten:

| | | |
|---|---|---|
| 0,45 | pC. | Stickoxydul. |
| 0,32 | „ | Kohlenoxyd. |

2,69 pC. Kohlensäure.
17,39 „ Sauerstoff.
79,15 „ Stickstoff.
100,00.

Auf 82,96 pC. atmosphärische Luft kommen 17,04 pC. Pulvergase.

## b. Analyse von Gasen, welche während des Minenkriegs gesammelt worden sind.

7) Analyse eines Gases, welches nach Sprengung einer Quetschmine unmittelbar vor Ort gesammelt war, am 16. August 1865.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Ursprüngliches Volumen . . . . . . | 143,37 | 0,6846 | 22,0 | 90,83 |
| Nach Absorption der Kohlensäure . | 138,28 | 0,69875 | 20,5 | 89,88 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs . | 114,98 | 0,67325 | 17,6 | 72,72 |
| Nach Absorption des Kohlenoxyds | 114,98 | 0,67250 | 18,8 | 72,34 |

Die Verbrennungs-Analyse unterblieb.

Es bestand daher das Gas in 100 Theilen aus:

0,42 pC. Kohlenoxyd.
0,95 „ Kohlensäure.
17,16 „ Sauerstoff.
81,47 „ Stickstoff (incl. der etwa vorhandenen brennbaren Gase).
100,00.

81,87 pC. atmosphärische Luft und 18,13 pC. Pulvergase.

8) Analyse eines Gases, welches an demselben Tage aus dem Ventilator gesammelt worden war.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temper. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Ursprüngliches Volumen . . . . . | 179,40 | 0,71185 | 22,0 | 118,19 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 169,30 | 0,72100 | 20,5 | 113,54 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 148,09 | 0,69675 | 17,6 | 96,93 |
| Nach Absorption des Kohlenoxyds | 140,77 | 0,68825 | 18,7 | 90,67 |

Verbrennungs-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen . . . . . . . . . | 174,94 | 0,3015 | 20,1 | 49,13 |
| Nach Zulassung von Sauerstoff . . | 208,07 | 0,34951 | 18,9 | 68,01 |
| Nach Zusatz von Knallgas und der Explosion . . . . . . . . . . | 207,03 | 0,34976 | 16,8 | 68,21 |
| Nach Absorption der Kohlensäure . | 205,20 | 0,35625 | 18,3 | 68,51 |

Zusammensetzung in 100 Theilen.

3,93 pC. Kohlensäure.
5,29 „ Kohlenoxyd.
14,05 „ Sauerstoff.
76,71 „ Stickstoff.

67,03 pC. atmosphärische Luft und 32,97 pC. Pulvergase.

9) Analyse eines Gases aus dem Ventilator gesammelt am 16. August Abends.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Ursprüngliches Volumen. . . . . . | 121,58 | 0,6632 | 11,4 | 77,40 |
| Nach Absorption der Kohlensäure. | 119,65 | 0,66875 | 13,0 | 76,38 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs . | 98,88 | 0,65175 | 14,0 | 61,30 |

Zusammensetzung in 100 Theilen:

1,31 pC. Kohlensäure.
19,45 „ Sauerstoff.
79,24 „ Stickstoff.
100,00.

92,79 pC. atmosphärische Luft und 7,21 Pulvergase.

10) Analyse eines Gases, geschöpft aus dem Ventilator am 18. August 1865.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Ursprüngliches Volumen . . . . . | 111,94 | 0,64807 | 13,7 | 69,08 |
| Nach Absorption der Kohlensäure. | 108,91 | 0,6625 | 12,2 | 69,06 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs . | 89,61 | 0,63775 | 11,0 | 54,93 |

Zusammensetzung in 100 Theilen.

20,45 Sauerstoff.
79,55 Stickstoff.

97,80 pC. atmosphärische Luft und 2,2 pC. Stickstoff.

11) Analyse eines am 21. August unmittelbar nach einer Minensprengung aus dem Ventilator geschöpften Gases.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Ursprüngliches Volumen ..... | 145,31 | 0,66457 | 13,7 | 91,95 |
| Nach Absorption der Kohlensäure . | 137,29 | 0,6895 | 12,2 | 90,74 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs . | 114,10 | 0,66025 | 11,0 | 72,41 |

Zusammensetzung in 100 Theilen.

1,31 pC. Kohlensäure.
19,93 „ Sauerstoff.
78,76 „ Stickstoff.
100,00.

95,08 pC. atmosphärische Luft und 4,92 Pulvergase.

12) Gas aus dem Ventilator am 24. August 1865.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Anfängliches Volumen ...... | 113,72 | 0,6550 | 20,1 | 69,38 |
| Nach Absorption der Kohlensäure . | 108,65 | 0,68075 | 18,9 | 69,17 |
| „ „ des Sauerstoffs . | 90,39 | 0,65775 | 18,3 | 55,72 |
| „ „ des Kohlenoxyds | 91,94 | 0,6530 | 22,6 | 55,44 |

Zusammensetzung in 100 Theilen.

0,30 pC. Kohlensäure.
0,40 „ Kohlenoxyd.
19,37 „ Sauerstoff.
79,93 „ Stickstoff.
100,00.

92,41 pC. atmosphärische Luft und 7,59 pC. Pulvergase.

### 13) Gas aus dem Ventilator gesammelt am 25. August 1865.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Anfängliches Volumen . . . . . . | 180,15 | 0,71641 | 12,9 | 123,24 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 175,61 | 0,7280 | 13,1 | 121,99 |
| „ „ des Sauerstoffs | 149,35 | 0,67975 | 10,8 | 97,66 |

Verbrennungs-Analyse.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anfängliches Volumen . . . . . . | 184,05 | 0,3492 | 11,4 | 61,74 |
| Nach Zusatz von Luft . . . . . . | 261,39 | 0,42407 | 11,6 | 106,33 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion . . . . . . . . . . | 263,45 | 0,42188 | 12,6 | 105,75 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 259,59 | 0,42875 | 14,0 | 105,80 |

Zusammensetzung in 100 Theilen.

| | | |
|---|---|---|
| 1,01 | pC. | Kohlensäure. |
| 19,74 | „ | Sauerstoff. |
| 79,25 | „ | Stickstoff. |
| 100,00. | | |

94,18 pC. atmosphärische Luft und 5,82 pC. Pulvergase.

Aus den vorstehenden Analysen der während des Minenkriegs gesammelten Gase geht hervor, daß mit Ausnahme der beiden Gase Nr. 7 und 8, alle übrigen einen sehr bedeutenden Gehalt an atmosphärischer Luft besitzen, Nr. 10 sich kaum von dieser unterscheidet. Die Gründe, warum es so schwer wurde, eine an Minengasen reichere Luft zu sammeln, habe ich bereits ausführlich erörtert und ich glaube, daß diese Erörterung für später anzustellende Versuche nicht ganz werthlos sein dürfte. Es war nur natürlich, daß die mühevollen und zeitraubenden Verbrennungs-Analysen dieser verdünnten Gase unterlassen wurden, da interessante Resultate bei ihrer großen Verdünnung mit atmosphärischer Luft kaum erwartet werden durften und überdieß bereits in den Gas-Analysen der Versuchsmine ein ausreichendes Material für die Beurtheilung des vorliegenden Problems gewonnen worden war.

Es dürfte aber hier der Ort sein, einige Versuche anzuführen,

welche in der Absicht angestellt wurden, um die von Boussingault und Cloëz in Frage gestellte richtige Bestimmung des Sauerstoffs durch pyrogallussaures Kali einer Kritik zu unterwerfen, namentlich aber um die Grenzen kennen zu lernen, innerhalb welcher die Anwendung dieses Absorptionsmittels noch zulässig ist. Beide Chemiker[1]) hatten unabhängig von einander gefunden, daß, wenn reiner oder mit Stickstoff gemengter Sauerstoff durch pyrogallussaures Kali absorbirt werde, eine Bildung von Kohlenoxyd auftrete, welche unter Umständen mehrere Procente des untersuchten Gases betragen könne. Träte diese Entwicklung in allen Fällen auf, so würden alle meine Bestimmungen des Sauerstoffs und des Kohlenoxyds mit einem Fehler von unbestimmbarer Grenze behaftet und daher ungenau sein. Es wurden daher einige Controll-Analysen mit einem gleichen Volumen atmosphärischer Luft ausgeführt, deren Sauerstoffgehalt größer ist, als jener der von mir untersuchten Minengase. Die Luft wurde zuerst durch eine Kalikugel von Wasserdampf und Kohlensäure befreit, dann der Sauerstoff in der bereits beschriebenen Weise durch pyrogallussaures Kali absorbirt, das nicht absorbirte Gas in ein Eudiometer übergefüllt und dort mit Luft und Knallgas verpufft. Es wurde in zwei Analysen keine Spur Kohlenoxyd erhalten, wie nachstehende Zahlen beweisen.

### 14) Erster Versuch betreffend die Bildung von Kohlenoxyd.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Luftvolumen von Wasser und Kohlensäure frei . . . . . . | 171,57 | 0,71375 | 12,1 | 117,26 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 144,05 | 0,6695 | 11,0 | 92,70 |

Eudiometrische Analyse.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Uebergefülltes Volumen . . . . . | 186,3 | 0,34312 | 11,9 | 61,25 |
| Nach Zulassung von Luft . . . . | 241,74 | 0,39588 | 12,6 | 91,48 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion . . . . . . . . . . | 239,92 | 0,39975 | 13,8 | 91,29 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 234,96 | 0,40975 | 14,2 | 91,51 |

1) Comptes rendus 1863. 57. S. 870–885.

### 15) Zweiter Versuch.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Luftvolumen frei von Wasser und Kohlensäure . . . . . . . . . | 165,65 | 0,70875 | 10,6 | 113,02 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 136,52 | 0,68975 | 14,2 | 89,51 |
| *Eudiometrische Analyse.* | | | | |
| Anfangs-Volumen . . . . . . . . | 225,04 | 0,38766 | 12,9 | 83,30 |
| Nach Zulassung von Luft . . . . | 269,68 | 0,43430 | 13,4 | 111,64 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion . . . . . . . . . . | 268,89 | 0,43527 | 13,1 | 111,68 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 263,96 | 0,44025 | 10,7 | 111.82 |

Die Zusammensetzung der untersuchten Luft ist daher

| 14. | 15. | Normale Zusammensetzung der Luft. |
|---|---|---|
| 20,94 | 20,80 | 20,96 Sauerstoff. |
| 79,06 | 79,20 | 79,04 Stickstoff. |

Diese Analysen beweisen die Zulässigkeit des pyrogallussauren Kali als Absorptionsmittel für Sauerstoff in Gasmengen, welche nicht mehr Sauerstoff als die atmosphärische Luft enthalten. Boussingault[1]) erhielt bei Anwendung dieses Absorptionsmittels in einem Gasgemenge von 48,3 pC. Sauerstoff und 51,7 pC. Stickstoff nur 0,19 pC. Kohlenoxyd, und in diesem Gemenge beträgt der Sauerstoffgehalt mehr als noch einmal so viel als in der atmosphärischen Luft. Alle von mir untersuchten Gasgemenge erreichen selbst diesen Sauerstoffgehalt nicht, daher ich mich zu der Behauptung berechtigt halte, daß bei allen meinen Sauerstoffbestimmungen diese von Boussingault und Cloëz beobachtete interessante Kohlenoxydbildung nicht stattgefunden und daher die Richtigkeit der Sauerstoff- und namentlich der Kohlenoxydbestimmungen nicht beinträchtigt hat.

Ich hielt die ausführliche Erörterung dieser Frage und die Mittheilung der Zahlen der beiden Versuchs-Analysen hier für nothwendig, um von vornherein dem Einwurf zu begegnen, daß die geringen in manchen Analysen auftretenden Kohlenoxydmengen nicht ursprünglich

1) l. c. S. 888.

dem Gasgemenge angehören, sondern erst durch die Analyse hineingekommen seien.

2) Analyse der von dem Verdämmungs-Material absorbirten Gase.

Es muß in allen vorstehenden Analysen der geringe Gehalt an Kohlensäure in den Minengasen auffallen. Nach den vorhandenen Untersuchungen von Bunsen und Schischkoff[1]), Link[2]) und von Károlyi[3]) beträgt diese den überwiegenden Bestandtheil der Pulvergase, 42 bis 52 pC. und es mußte daher die Vermuthung nahe liegen, daß bei Minensprengungen die Kohlensäure vorzugsweise von dem Verdämmungs-Material absorbirt werde. Dieß und der Wunsch, die Rolle näher kennen zu lernen, welche die Verdämmungsmaterialien und der Erdboden überhaupt bei der Entwicklung der Minengase und ihrer Absorption spielen, war die Veranlassung, die darin enthaltenen Gase einer genauen Prüfung zu unterwerfen.

Nach mannigfachen vorläufigen Versuchen blieb ich bei der Methode stehen, nach welcher Bunsen die im Brunnenwasser aufgelösten Gase bestimmt und welche von Baumert[4]) zuerst in der Abhandlung über die Respirations-Producte des Schlammpeizgers näher beschrieben worden war. Auf Tafel III zeigt Fig. 2 den benutzten Apparat, welcher übrigens in den „Gasometrischen Methoden" von Bunsen[5]) abgebildet ist.

In den gewogenen Glaskolben a (Fig. 2), welcher cc. 700 CC. faßte und in seiner Caoutschoukligatur durch einen Schraubenquetschhahn luftdicht geschlossen werden konnte, wurde unmittelbar beim Aufräumen der Versuchsmine das betreffende Verdämmungs-Material, Rasen, Luftziegel 2c. eingefüllt, so daß ungefähr der 4. Theil des Kolbens damit angefüllt war. Durch eine zweite Wägung wurde die Menge des eingefüllten Materials gefunden. Schon vorher hatte man in einem anderen Kolben destillirtes Wasser durch längeres Kochen von aller

1) Poggendorf, Annalen B. 102 S. 338.

2) Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 109 S. 64.

3) Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Bd. 47, S. 75. Journal für praktische Chemie Bd. 90 S. 141.

4) Chemische Untersuchungen über die Respiration des Schlammpeizgers. S. 22. Heidelberg 1852.

5) l. c. S. 18.

Luft befreit und unter luftdichtem Verschluß erkalten lassen. Mit diesem luftfreien und kaltem Wasser wurde der Kolben mit dem gewogenen Verdämmungsmaterial vollständig gefüllt und dann mit einem Quetschhahn luftdicht geschlossen. Die sich entwickelnden Gase wurden sofort von dem kalten Wasser absorbirt, es erschienen daher nur wenige Gasblasen. Nun wurde mit dem Kolben das Kugelrohr b und mit diesem die in Millimeter getheilte und calibrirte Röhre c verbunden, welche bei e durch einen Quetschhahn geschlossen werden konnte; ebenso konnte die Verbindung bei d durch einen Quetschhahn unterbrochen werden. Die Kugel der Röhre b war ungefähr bis zur Hälfte mit ebenfalls ausgekochtem Wasser gefüllt. Der so gefüllte und in seinen einzelnen Theilen auf das sorgfältigste luftdicht verbundene Apparat wurde, mit dem Kolben auf einem Wasserbade, in eine unter einem Winkel von 45° geneigte Stellung gebracht. Nach Oeffnung der Quetschhähne bei d und e wurde durch eine kleine Flamme das Wasser in der Kugel b zum Kochen erhitzt und so lange darin erhalten, bis durch die Wasserdämpfe alle Luft aus dem Rohr c vertrieben war, was bei richtig ausgeführter Operation vollkommen gelingt. Um die Condensation von Wasserdämpfen in diesem Rohr möglichst zu vermeiden, wurde es während des Auskochens in einem Wasserbade dem Dämpfen des siedenden Wassers ausgesetzt. Sobald die Gewißheit erlangt war, daß alle Luft aus der Röhre ausgetrieben sei, wurde noch während des Siedens des Wassers in der Kugelröhre die Oeffnung bei e luftdicht geschlossen, die Lampe entfernt und der ganze Apparat erkalten gelassen. Jetzt wurde der Hahn bei a geöffnet. Das Wasser in dem Kolben fing sofort an, sein Gas in den leeren Raum zu entlassen, diese Gasentwicklung wurde durch vorsichtiges Erhitzen, stets unter 90° im Wasserbade unterstützt und so lange fortgesetzt, bis die großen Wasserdampfblasen nur allein auftraten und die absorbirten Gase, so weit dieß hier möglich war, sich in dem leeren Raum des Apparats befanden. Durch vorsichtiges Neigen desselben konnte das Wasser bis an den Quetschhahn d getrieben und damit alles Gas in dem Rohr c vereinigt werden. In diesem Moment wurde der Quetschhahn bei d geschlossen, das Rohr c von dem Apparate getrennt und unter Quecksilber geöffnet. Das Quecksilber stieg in dem Rohr stets in die Höhe. Nach einigen Stunden wurde die erhaltene Gasmenge gemessen, hierauf zum größten Theil in ein Absorptionsrohr übergefüllt und dort, wie früher beschrieben, weiter analysirt.

Auf diese Weise wurde der Rasen, die Luftziegel und auch die versuchsweise zur Verdämmung verwandte Holzkohle der Versuchsmine sowie auch während des Minenkriegs gesammelter Sand auf ihren Gasgehalt untersucht. Um das Aufsteigen der Kohle und der Rasenfasern in das Kugelrohr b zu verhindern, wurde zwischen diesem und den Kolben mit Erfolg ein kleines Netz aus Messingdraht eingeschoben.

Die Gase sowohl, wie der Rückstand im Kolben, welcher die Reagenzpapiere stets unverändert ließ, wurden in allen Fällen auf Schwefelwasserstoff untersucht. Dieses Gas konnte aber weder durch den Geruch noch durch andere Mittel nachgewiesen werden und ebenso wenig trat eine Schwefelwasserstoff-Entwicklung ein, wenn der Rückstand im Kolben mit Säuren übergossen wurde. Doch war auch an dem Verdämmungs-Material der charakteristische Minengeruch bemerkbar.

Das nicht unmittelbar zur Analyse verwandte Verdämmungs-Material wurde in sorgfältig verschlossenen, weitmündigen Flaschen aufbewahrt. Es war interessant festzustellen, wie lange wohl die von demselben absorbirten Gase zurückgehalten werden würden. Zu diesem Zweck wurde am 14. October c., also fast fünf Wochen nach dem Aufräumen der Mine, sowohl Rasen wie Luftziegel noch einmal im luftleeren Raume ausgekocht und ganz analoge Resultate erhalten.

## Analyse der von der Verdämmung der Versuchsmine absorbirten Gase.

### 16) Gase des Rasens unmittelbar nach dem Aufräumen der Versuchsmine bestimmt.

165,35 gr. Rasen wurden im luftleeren Raume ausgekocht und erhalten:

| | Volumen. | Druck. | Temperatur. | Reducirtes Volumen. |
|---|---|---|---|---|
| Gas in der Röhre c gemessen . . | 79,54 | 0,67521 | 23,7 | 49,42 |

Diese 49,42 Volumtheile sind gleich 23,82 Kubikcentimeter.

#### Absorptions-Analyse.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anfangs-Volumen. . . . . . . . . | 143,80 | 0,69505 | 15,6 | 94,55 |
| Nach Absorption der Kohlensäure . | 43,55 | 0,61175 | 16,1 | 25,15 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs . | 43,80 | 0,6095 | 15,4 | 25,27 |
| Nach Absorption des Kohlenoxyds | 43,80 | 0,6095 | 15,2 | 25,29 |

### Eudiometrische Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Anfängliches Volumen . . . . . . | 79,917 | 0,22484 | 13,0 | 17,15 |
| Nach Zusatz von Luft . . . . . . | 152,06 | 0,30159 | 12,3 | 43,88 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Verpuffung . . . . . . . . . | 150,51 | 0,29859 | 13,0 | 42,88 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 148,46 | 0,3035 | 12,8 | 43,04 |
| Nach Zulassung von Wasserstoff . | 242,00 | 0,39925 | 12,8 | 92,29 |
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion. . . . . . . . . . | 218,78 | 0,36444 | 14,2 | 75,79 |

Hieraus ergiebt sich:

$P = 0{,}56$; $P_1 = 0{,}16$; $P_2 = 0{,}367$; $P_3 = 43{,}04$; $O = 5{,}602$; $C = 1{,}00$; $C_1 = 16{,}50$; $V = 17{,}15$; $n_1 = 21{,}127$.

und berechnet sich nach den früher mitgetheilten Formeln: Kohlenoxyd = — 0,21; Grubengas = 0,05; Wasserstoff = 0,73; Stickoxydul = 0,53; Stickstoff = 16,05.

Hieraus ergiebt sich die Zusammensetzung in 100 Theilen:

| | | |
|---|---|---|
| 1,11 | pC. | Wasserstoff. |
| 0,81 | „ | Stickoxydul. |
| 24,76 | „ | Stickstoff. |
| 73,32 | „ | Kohlensäure. |
| 100,00. | | |

Um die Menge der Gase kennen zu lernen, welche in einem Raumtheil der Mine sowohl von der Verdämmung absorbirt als in ihren Zwischenräumen enthalten war, wurde das specifische Gewicht des Verdämmungsmaterials und sein absolutes Gewicht in einem Kubikfuß bestimmt. Das erstere wurde gefunden durch Wägung des Rasens &c. in der Luft und unter Wasser und zu derselben der bereits beschriebene Auskochkolben und wohl ausgekochtes und wieder erkaltetes Wasser benutzt. Es versteht sich von selbst, daß bei der wechselnden Natur des Rasens, der ihm anhängenden Erde &c. diese Bestimmung nur eine annähernde sein konnte, welche aber für den vorliegenden Zweck vollkommen ausreichte. Das absolute Gewicht eines bestimmten Volumens des Verdämmungsmaterials wurde gefunden, indem ein genau gearbeiteter, im Besitz der hiesigen Pulverfabrik befindlicher Kubikfuß mit dem betreffenden Verdämmungsmaterial in derselben Weise, wie es in der Mine Verwendung findet, gefüllt und gewogen wurde.

Die Rechnungs-Elemente zur Bestimmung des specifischen Gewichts des Rasens sind: Gewicht des leeren Kolbens = 131,85 gr., sein Inhalt 695,89 CC.; Gewicht des Rasens 107,95 gr., Gewicht des Kolbens mit Rasen und Wasser 879,90 gr. Hieraus berechnet sich das specifische Gewicht = 1,934. Obige 165,35 gr. Rasen nehmen daher einen Raum von 85,49 CC. ein und enthalten 23,82 CC. Gas = 27,86 pC.

1 Kubikfuß Rasen = 30,915 Liter wog 36,833 Kgr., 1 Liter daher 1191 gr. Es sind mithin in einem Liter Rasen enthalten 615,82 CC. Rasen und 384,18 CC. mit Gas erfüllte Zwischenräume.

### 17) Analyse der Gase des Rasens, vier und eine halbe Woche nach dem Aufräumen der Mine durch Auskochen gewonnen.

276,65 gr. Rasen = 133,22 CC. wurden im luftleeren Raume ausgekocht und erhalten

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Gas in der Röhre c gemessen . . . | 53,5 | 0,67228 | 10,5 | 34,63 |

Diese 34,63 Volumtheile sind gleich 15,82 CC. = 11,88 pC.

#### Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temper. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Uebergefülltes Volumen . . . . . | 79,84 | 0,62657 | 11,6 | 47,98 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 39,02 | 0,59275 | 10,8 | 22,24 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 39,57 | 0,59375 | 12,1 | 22,49 |

Die eudiometrische Analyse wurde unterlassen.

Hieraus berechnet sich die Zusammensetzung in 100 Theilen.

53,64 „ Kohlensäure.
46,36 „ Stickstoff.
100,00.

### 18) Gase der Luftziegel, unmittelbar nach dem Aufräumen der Mine gesammelt.

244,42 gr. = 97,57 CC. Luftziegel wurden im luftleeren Raum ausgekocht und erhalten:

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Gesammtmenge des Gases . . . . | 55,59 | 0,68071 | 17,4 | 35,57 |

Diese 35,57 Volumtheile entsprechen 16,28 CC. = 16,7 pC.

Absorptions-Analyse.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Uebergefülltes Volumen . . . . . | 116,18 | 0,66442 | 16,9 | 72,69 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 46,32 | 0,62075 | 17,2 | 27,05 |
| „ „ des Sauerstoffs | 42,54 | 0,60950 | 15,4 | 24,54 |
| „ „ des Kohlenoxyds | 42,79 | 0,60900 | 15,7 | 24,64 |

Die eudiometrische Analyse gab ein ungenügendes Resultat, die erhaltenen Zahlen zeigten jedoch die Abwesenheit des Grubengases und ließen nur die Anwesenheit einer sehr kleinen Menge von Wasserstoff vermuthen.

Die Zusammensetzung des Gases in 100 Theilen ist daher:

| | | |
|---|---|---|
| 62,79 | pC. | Kohlensäure |
| 33,76 | „ | Stickstoff. |
| 3,45 | „ | Sauerstoff. |
| 100,00. | | |

16,46 atmosphärische Luft und 83,54 pC. Pulvergase.

Das specifische Gewicht der Luftziegel wurde 2,505 gefunden. Ein Kubikfuß = 30,915 Liter wiegt 43,75 Kgr., ein Liter 1415 gr.; dieser enthält daher 564,8 CC. feste Masse und 435,2 CC. mit Gas erfüllte Zwischenräume.

19) Gase der Luftziegel, 4½ Woche später analysirt.

310,77 gr. = 124,06 CC. Luftziegel gaben in gleicher Weise behandelt:

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Gesammtmenge des Gases . . . . . | 52,76 | 0,6559 | 11,1 | 33,25 |

Diese 33,25 Volumtheile entsprechen 16,12 CC. = 12,99 CC.

Absorptions-Analyse.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anfängliches Volumen . . . . . . | 113,55 | 0,65782 | 11,6 | 71,65 |
| Nach Absorption der Kohlensäure. | 82,10 | 0,6340 | 11,6 | 49,93 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs. | 75,34 | 0,62425 | 10,8 | 45,24 |

Die eudiometrische Analyse unterblieb.

Die Zusammensetzung des Gases in 100 Theilen ist demnach:

30,31 pC. Kohlensäure.
6,54 „ Sauerstoff.
63,15 „ Stickstoff.

31,20 pC. atmosphärische Luft und 68,8 pC. Minengase.

## 20) Analyse der Gase der zur Verdämmung verwandten Holzkohle.

Dr. Herzfeld hatte in einem an die Königliche Versuchs-Commission in Neisse gerichtetem Schreiben vom 11. August d. J. den Vorschlag gemacht, die ausgezeichnete Absorptionsfähigkeit der Holzkohle zur Beseitigung der Minengase zu benutzen. Auf seine Veranlassung war schon während des Minenkriegs die Verdämmung einer Quetschmine mit einer Holzkohlenschicht versehen worden. Die betreffende Gallerie konnte nach der Explosion der Mine nicht aufgeräumt werden und daher ging die zu diesem Zweck verwandte Kohle verloren. In der Versuchsmine wurde jedoch der Versuch erneuert, indem eine sechs Zoll starke Schicht von nicht frisch ausgeglühter Kohle in die Verdämmung hinter den Luftziegeln eingeschaltet wurde. Bei dem Aufräumen der gesprengten Mine wurde die Kohle sofort in kleinen Stücken in den Auskochkolben gebracht und ihr im luftleeren Raume in der bereits beschriebenen Weise die absorbirten Gase entzogen.

23,9 gr. Kohle = cc. 15,2 CC. gaben:

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Gesammtmenge des Gases . . . . . | 128,5 | 0,72472 | 22,1 | 86,15 |

Diese 86,15 Volumtheile entsprechen 41,55 CC. = 273,3 pC.

### Absorptions-Analyse.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anfängliches Volumen . . . . . . | 177,65 | 0,72136 | 22,8 | 118,28 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 160,58 | 0,72375 | 23,1 | 107,16 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 133,74 | 0,7005 | 17,4 | 88,07 |
| Nach Absorption des Kohlenoxyds | 134,24 | 0,69775 | 17,2 | 88,11 |

### Eudiometrische Analyse.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Uebergefülltes Volumen . . . . . | 203,63 | 0,34822 | 15,7 | 67,05 |
| Nach Zulassung von Luft . . . . | 264,48 | 0,4058 | 15,0 | 101,74 |

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reducirt. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Nach Zusatz von Knallgas und Explosion . . . . . . . . . . | 269,94 | 0,40838 | 15,8 | 104,21 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 263,96 | 0,41625 | 14,7 | 104,26 |

Bei dieser Analyse sind höchst wahrscheinlich bei Zusatz des Knallgases einige Luftblasen eingedrungen. Aus den erhaltenen Zahlen geht hervor, daß weder Kohlenoxyd noch Grubengas von der Kohle absorbirt worden ist.

Das Gas besteht daher in 100 Theilen aus

| | | |
|---|---|---|
| 9,40 | pC. | Kohlensäure. |
| 16,12 | „ | Sauerstoff. |
| 74,48 | „ | Stickstoff. |
| 100,00. | | |

76,9 pC. atmosphärische Luft und 23,1 pC. Minengase.

Das specifische Gewicht der Holzkohle wurde nach Gmelin zu 1,57 angenommen. Ein Kubikfuß Kohle = 30,915 Liter wiegt = 5,085 Kgr., 1 Liter daher 164,4 gr.; er enthält daher 105 CC. feste Masse und 895 CC. mit Gas erfüllte Zwischenräume.

### 21) Analyse der aus dem Sande der Verdämmung erhaltenen Gase.

Die Sandsäcke der Versuchsmine wurden leider auf ihren Gasgehalt nicht untersucht, dagegen war während des Minenkriegs Sand aus einer gesprengten Gallerie, in welcher das Verdämmungsmaterial aufgeräumt und Minenkranke beobachtet worden waren, gesammelt und davon 400 gr. im luftleerem Raume ausgekocht worden. Die absolute Menge des Gases war nicht gemessen worden.

Absorptions-Analyse.

| | Vol. | Druck. | Temperat. | Reduc. Vol. |
|---|---|---|---|---|
| Anfängliches Volumen . . . . . . | 119,04 | 0,66826 | 18,4 | 74,52 |
| Nach Absorption der Kohlensäure | 110,92 | 0,6750 | 18,8 | 70,04 |
| Nach Absorption des Sauerstoffs | 97,33 | 0,6555 | 17,5 | 59,95 |
| Nach Absorption des Kohlenoxyds | 97,08 | 0,65925 | 15,8 | 60,50 |

Die eudiometrische Analyse unterblieb.

Das Gas besteht daher in 100 Theilen aus:

| | | |
|---|---|---|
| 6,01 | pC. | Kohlensäure. |
| 13,56 | „ | Sauerstoff. |
| 80,43 | „ | Stickstoff. |
| 100,00. | | |

64,69 pC. atmosphärische Luft und 35,31 pC. Minengase.

Das specifische Gewicht des lufttrocknen Sandes wurde = 2,48 gefunden. Ein Liter wiegt 1623 gr. und enthält daher 645 CC. feste Masse und 345 CC. Hohlräume.

---

## Analyse des zu den Minensprengungen benutzten Pulvers.

Um die Beziehungen zwischen der Zusammensetzung der gesammelten Gase und des zu den Sprengungen verwandten Pulvers kennen zu lernen, wurde eine Probe des zur Sprengung der Versuchsmine benutzten Pulvers analysirt. Zur gegenseitigen Controlle der Analyse geschah dieß nach zwei verschiedenen Methoden. Die eine ist von Linck[1]) veröffentlicht, die andere befindet sich in der Anleitung zur quantitativen Analyse von Fresenius[2]).

Nach der ersten Methode wurden in ein und derselben Quantität Schießpulver sämmtliche Bestandtheile bestimmt und zwar der Wassergehalt durch Trocknen bei 18° und 100° Cels., der Schwefel durch Ausziehen mit Schwefelkohlenstoff, der Salpeter durch Auslaugen mit einer möglichst kleinen Wassermenge unter Benutzung des atmosphärischen Luftdrucks durch Evacuiren mit der Luftpumpe und endlich der Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoffgehalt der Kohle durch Verbrennen des ausgelaugten Rückstandes im Sauerstoffstrom.

Nach der zweiten Methode wurden in gesonderten Mengen der Schwefel mit Salpetersäure und chlorsaurem Kali oxydirt und als schwefelsaurer Baryt gewogen, der Salpeter mit Wasser ausgelaugt und zur Bestimmung der Kohle das Pulver wiederholt mit Schwefelammonium behandelt und, nach der Wägung der Kohle, im Rückstande der nicht extrahirte Schwefel als schwefelsaurer Baryt bestimmt.

---

1) Liebig, Annalen der Chemie. Band 109 S. 53.

2) Fünfte Auflage. 1863. S. 765.

Das Trocknen des Pulvers bei 18° und des Rückstands bei 100° geschah stets durch Vermittlung eines Aspirators in einem Strome trockner Luft und wurden bei der Analyse selbst alle Vorsichtsmaßregeln inne gehalten, welche ein gutes Resultat sichern konnten. Die Uebereinstimmung der Resultate enthält zu gleicher Zeit einen Maaßstab für den Werth der beiden angewandten Methoden für die Pulver-Analyse. Das Pulver war ordinäres preußisches Geschützpulver und stammte nach officieller Mittheilung aus älteren Vorräthen. Eine Quantität desselben wurde fein zerrieben und in einem mit Glasstöpsel versehenem Glase aufbewahrt; von ihr wurden die zu allen Versuchen nothwendigen Mengen entnommen.

Es wurden nachstehende Zahlen erhalten:

I. Analyse nach der Methode von Linck.

22a) 1) 2,4931 gr. Pulver verloren bei 18° Cels. 0,0261 gr. = 1,04 pC. Wasser.

2) Dieselbe Menge gab 0,2862 gr. Schwefel = 11,47 pC.

3) Der Rückstand von Kohle und Salpeter verlor bei 100° C. 0,0061 gr. = 0,24 Wasser.

4) 0,3541 gr. dieses Rückstands gaben 0,0045 schwefelsauren Baryt = 0,14 pC. Schwefel.

5) 1,8206 gr. desselben Rückstands gaben 1,4832 Salpeter = 71,06 pC.

6) Diese Menge Salpeter gab 0,0145 gr. Baryt = 0,52 pC. schwefelsaures Kali, welches von dem Salpeter abzuziehen ist und 0,09 pC. Schwefel, welcher als Correctur bei 2 und 4 in Betracht kommt.

7) Die directe Wägung der Kohle ging verloren und auch die Elementaranalyse derselben, da das zur Extraction des Schwefels und Salpeters benutzte Glasrohr nicht von hinreichend schwer schmelzbaren Glase war und sich daher in dem Verbrennungsrohr vor Vollendung der Analyse durch Zuschmelzen verstopfte. Es wurde daher bei der zweiten Analyse die Verbrennung im Platinschiffchen vorgezogen.

23b) 1) 2,9605 gr. Pulver gaben 0,3384 gr. = 11,43 pC. Schwefel.

2) 2,9605 gaben 2,5773 Rückstand von Kohle und Salpeter und bei 100° Cels. 0,0138 gr. Verlust = 0,46% Wasser.

3) 0,7448 gr. dieses Rückstands gaben 0,0193 gr. schwefelsauren Baryt = 0,30 pC. Schwefel.

4) 1,8325 gr. dieses Rückstands gab 1,4965 gr. Salpeter = 71,09 pC. und

5) 0,3355 gr. Kohle = 15,94 pC.

Von diesen 15,94 pC. Kohle sind 0,30 pC. Schwefel abzuziehen.

6) 0,2529 gr. Kohle wurden nach wiederholten sorgfältigem Trocknen bei 100° Cels. im Sauerstoffstrom verbrannt. Mit dem Liebig'schen Kugelapparat war noch ein Natronkalkrohr verbunden.

Es wurden 0,6964 gr. Kohlensäure = 11,74 pC. Kohlenstoff und 0,0640 gr. Wasser = 0,44 pC. Wasserstoff erhalten.

Auch hier mußten die Correcturen Platz greifen, welche durch den in der ersten Analyse bestimmten Gehalt des Salpeters an schwefelsaurem Kali nothwendig wurden. Bei dieser Analyse wurde versucht, den geringen Gehalt des Salpeters an Chlorkalium zu bestimmen, es waren jedoch nur unwägbare Mengen vorhanden.

II. Controll-Analyse nach der von Fresenius angegebenen Methode.

24) 1) 6,788 gr. Pulver verloren bei 18° Cels. 0,083 gr. = 1,22 pC. Wasser.

2) 4,3668 gr. Pulver gaben 3,107 gr. Salpeter = 71,15 pC.

3) 2,3178 gr. Pulver 2,008 gr. schwefelsauren Baryt = 11,90 pC. Schwefel.

4) 3,1592 gr. Pulver hinterließen mit Schwefelammonium behandelt 0,502 gr. rückständige Kohle = 15,89 pC.

5) Diese gab bei der Oxydation mit Schwefelsäure 0,0609 gr. schwefelsauren Baryt = 0,26 pC. Schwefel.

Der Gehalt des Salpeters an schwefelsaurem Kali macht auch hier eine Correctur der Bestimmungen von 2 und 3 nothwendig.

Die Uebereinstimmung der auf verschiedenen Wegen erhaltenen Resultate spricht für die vorzügliche Brauchbarkeit und Zuverläßigkeit der beiden analytischen Methoden, von denen namentlich die Methode von Linck ein sehr rasches Ausziehen und eine bequeme Bestimmung des Salpeters und Schwefels gestattet.

**Aus diesen Versuchen berechnet sich nachstehende Zusammensetzung des Pulvers in 100 Theilen:**

| | I.a. | I.b. | | II. | Mittel der Versuche. |
|---|---|---|---|---|---|
| Wasserverlust b. 18° C. . | 1,04 pC. | 1,04 pC. | | 1,22 pC. | 1,10 pC. |
| Wasserverlust b. 100° C. . | 0,24 " | 0,46 " | | 0,19 [1]) " | 0,23 " |
| Salpeter . . | 70,53 " | 70,57 " | | 70,63 " | 70,58 " |
| Schwefelsaures Kali . | 0,52 " | 0,52 " | | 0,52 " | 0,52 " |
| Chlorkalium. | Spur | Spur . | | Spur | — |
| Schwefel . . | 11,52 " | 11,64 " | | 11,81 " | 11,65 " |
| Kohle . . . . | 16,15 [1]) " | 15,64 | 11,74 Kohlenstoff<br>0,44 Wasserstoff<br>3,46 Sauerstoff | 15,63 " | 15,80 " |
| | 100,00 | 99,87 | | 99,81 | 99,88. |

Nach Abzug des Wassers und des schwefelsauren Kali besteht daher das Pulver in 100 Theilen aus

| | | |
|---|---|---|
| Salpeter | 72,00 | |
| Schwefel | 11,88 | |
| Kohle | 16,12 | 12,10 Kohlenstoff<br>0,46 Wasserstoff<br>3,56 Sauerstoff. |
| | 100,00. | |

Es wurde als preußisches ordinäres Geschützpulver von älterer Bereitung bezeichnet. Bis 1831 war das preußische Kriegspulver im Allgemeinen von folgender procentischer Zusammensetzung:

| | |
|---|---|
| Salpeter . . . | 75,00 pC. |
| Schwefel . . . | 11,50 " |
| Kohle . . . . . | 13,50 " |

während zeitweise nach, von competenter Seite erhaltener Mittheilung auch ein Pulver von einem procentischen Gehalt von

| | |
|---|---|
| Salpeter . . . | 71,79 pC. |
| Schwefel . . . | 11,54 " |
| Kohle . . . . . | 16,67 " |

fabricirt wurde, dessen Zusammensetzung mit meiner Pulver-Analyse übereinstimmt und sich, namentlich in dem größeren Gehalt an Kohle

1) Ist aus dem Verlust berechnet worden.

schon mehr dem seit 1831 fabricirten preußischen Kriegspulver nähert, welches aus

| | | |
|---|---|---|
| Salpeter . . . . | 74,0 | pC. |
| Schwefel . . . . | 10,0 | = |
| Kohle . . . . . | 16,0 | = |

besteht.

## Die Zusammensetzung des Schießpulvers und seine Verbrennungs-Produkte.

Die Beziehungen zwischen der Zusammensetzung des Schießpulvers und seinen Verbrennungs-Produkten sind erst seit kurzer Zeit für einzelne Pulversorten durch das Experiment festgestellt worden.

Die Erfahrungen mehrerer Jahrhunderte und die Arbeiten aller Länder haben auf rein empirischem Wege allmälig zu einer Zusammensetzung, Dosirung, des Pulvers geführt, welche allen Anforderungen der Praxis entspricht, welche aber zu gleicher Zeit auch ein sehr einfaches Verhältniß der Bestandtheile ausdrückt. Die anerkannt besten und im größten Maaßstabe fabricirten Pulversorten, das preußische, österreichische, französische, englische, italienische, russische und schweizersche Kriegspulver enthalten auf ungefähr sechs Theile Salpeter einen Theil Schwefel und einen Theil Kohle, dasselbe Verhältniß, welches auch Proust[1]) aus einer großen Reihe von Beobachtungen als das für die Pulverfabrikation beste Gemenge ermittelt hatte. Dieses Verhältniß der Bestandtheile gestattet einen sehr einfachen chemischen Ausdruck, da

1) Vergl. für diesen Abschnitt Liebig's Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie Bd. 7 S. 303 ff., Knapps Lehrbuch der chemischen Technologie Bd. 1 S. 303 ff. und die bereits mehrfach citirte Abhandlung von Bunsen „über die chemische Theorie des Schießpulvers.“

es nahezu eine Mischung von 1 Aequivalent Salpeter, 1 Aequivalent Schwefel und 3 Aequivalenten Kohlenstoff darstellt. Ein so gemischtes Pulver enthält in 100 Theilen

| | | |
|---|---|---|
| Salpeter . . . | 74,84 | pC. |
| Schwefel . . . | 11,84 | „ |
| Kohlenstoff . . | 13,32 | „ |

Man kann es als normales Pulver bezeichnen. Die Abweichungen der oben genannten anerkannt guten Pulversorten haben zumeist ihren Grund nur in der verschiedenen Beschaffenheit der Kohle, welche nie reiner Kohlenstoff ist, sondern je nach der mehr oder weniger weit getriebenen Verkohlung wechselnde Mengen von Wasserstoff und Sauerstoff enthält. Selbst die schwarze Kohle der Pulverfabriken enthält nur 88 bis 90 pC. reinen Kohlenstoff, während derselbe in der sogenannten Rothkohle, welche durch Verkohlung des Holzes in eisernen Cylindern über freiem Feuer oder mit überhitztem Wasserdampf gewonnen wird, bis auf 70 pC. sinken kann. Je nach dem Zweck, zu welchem das Pulver dienen soll, ob es Jagd-, Flinten- oder Kanonen-Pulver werden soll, wird die Beschaffenheit und das Gewicht der Kohle und darnach die Menge der anderen Bestandtheile bemessen, nie aber darf sich die Zusammensetzung des zu diesen Zwecken dienenden Pulvers ohne Gefährdung seiner Güte allzuweit von dem normalen Satze entfernen.

Dieses einfache Aequivalenten-Verhältniß der Bestandtheile des normalen Pulvers schien nun einen ebenso einfachen Verlauf des Zersetzungsprocesses beim Abbrennen zu begünstigen. Da man im Allgemeinen Kohlensäure und Stickstoff in den Gasen und Schwefelkalium im Verbrennungsrückstande des Pulvers gefunden hatte, so drückte man diesen Proceß durch nachstehende chemische Gleichung aus, für welche wir die bis jetzt übliche Schreibweise beibehalten:

$$KO.\ NO_5 + S + 3C = KS + 3CO_2 + N.$$

Nach diesem Schema zerlegen sich ein Aequivalent, 101,11 Gewichtstheile, Salpeter mit einem Aequivalent, 16 Gewichtstheilen, Schwefel und drei Aequivalenten, 18 Gewichtstheilen Kohlenstoff und es entstehen ein Aequivalent, 55,11 Gewichtstheile, Einfach-Schwefelkalium, ein Aequivalent, 14 Gewichtstheile, Stickstoff und drei Aequivalente, 66 Gewichtstheile, Kohlensäure. Der Theorie nach würde 1 gr. dieses normalen Pulvers 330,9 CC. Gas, Kohlensäure und Stickstoff, bei 0° und 0,760$^{m}$ Druck gemessen, geben. Diese Erklärung

floß so ungezwungen aus den in Wechselwirkung tretenden Mengen der Bestandtheile des Pulvers, daß sie als chemische Theorie des Schießpulvers bis in die neueste Zeit und auch jetzt noch in manchen chemischen und fast allen artilleristischen Werken ausschließlich geltend gemacht wird.

Bei einer Vermehrung des Kohlenstoffs im Schießpulversatze wird sehr bald der Sauerstoff des Salpeters nicht mehr zur vollständigen Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure ausreichen, es wird Kohlenoxyd gebildet werden. Die Grenze dieser Vermehrung des Kohlenstoffs, wo nach der älteren Anschauung sich keine Kohlensäure mehr, sondern nur Kohlenoxyd neben Stickstoff entwickelt, wird durch die Gleichung

$$KO.\,NO_5 + S + 6C = K\,S + 6CO + N$$

ausgedrückt werden. Hier treten also 6 Aequivalente Kohlenstoff mit einem Aequivalent Salpeter und einem Aequivalent Schwefel in Wechselwirkung, und es entsteht neben Schwefelkalium und Stickstoff nur Kohlenoxyd.

Ein so zusammengesetztes Pulver enthält in 100 Theilen

| | |
|---|---|
| Salpeter . . | 66,00 |
| Schwefel . . | 10,44 |
| Kohlenstoff . | 23,56 |
| | 100,00. |

und 1 Gramm desselben giebt der Theorie nach 511 CC. Gas, Kohlenoxyd und Stickstoff, bei 0° und 0,760$^m$ Druck gemessen.

Wenn man die Güte des Pulvers daher allein nach der, bei seiner Explosion entstehenden, theoretischen Gasmenge beurtheilen wollte, so würde die letztere Mischung den Vorzug verdienen, da sie weit über die Hälfte mehr Gas entwickelt als die erstere. In der Wirklichkeit verhält sich aber die Sache ganz anders. Denn einmal bleibt bei der Explosion der letzteren Mischung ein Theil des Kohlenstoffs unverbrannt zurück, da auch in diesem Falle stets Kohlensäure gebildet wird, dann aber brennt diese Mischung weit träger ab und entwickelt endlich bei ihrer Verbrennung eine weit geringere Wärmemenge, wodurch natürlich das erzeugte Gasvolumen weniger ausgedehnt wird. Dieses letztere Moment fällt so schwer ins Gewicht, daß die bei der Verbrennung des ersteren Gemisches durch die hohe Temperatur bewirkte Ausdehnung der Pulvergase das größere Gasvolumen der zweiten Pulversorte,

welches der Theorie nach bei einer nur halb so hohen Temperatur entsteht, mehr als aufwiegt. Daher ist die Praxis auch stets zum ersten, als normal bezeichneten Satz zurückgekehrt, denn die explosive Wirkung des Schießpulvers, in so fern wir sie als Arbeitskraft benutzen, seine Güte, beruht auf der Eigenschaft, bei vollständiger Verbrennung in rasch auf einander folgenden kleinen Zeitmomenten, also nicht plötzlich, wie die Explosion von Knallsilber, Chlorstickstoff 2c., die möglichst größte Menge Gas zu entwickeln.

Innerhalb der durch die beiden Gleichungen gezogenen Grenzen bewegt sich nun in Beziehung auf den Kohlenstoff die Zusammensetzung der verschiedensten Pulversorten, je nach der Verwendung, welche sie finden sollen. Es gehören aber namentlich in die durch die letztere Gleichung repräsentirte Kategorie die verschiedenen Spreng- und Minenpulver, wie das französische und österreichische Sprengpulver, welche auf 1 Aequivalent, 101 Gewichtstheile Salpeter, 2 Aequivalente, 32 Gewichtstheile, Schwefel und 4 bis 5 Aequivalente, 24—30 Gewichtstheile, Kohlenstoff enthalten.

Schon die älteren Untersuchungen von Chevreul und Gay-Lussac und von Vogel ließen Zweifel an der Richtigkeit dieser theoretischen Ansichten aufkommen, vor allen aber hat die im Jahre 1857 veröffentlichte classische Untersuchung von Bunsen und Schischkoff „über die chemische Theorie des Schießpulvers" und die sich an dieselben anschließenden späteren Arbeiten von Linck und namentlich die ausgezeichnete Untersuchung von v. Károlyi, welche die bei hohem Druck erzeugten Pulvergase zum Gegenstand hatte, überzeugend die Unrichtigkeit der bisher geltenden Ansichten dargethan. Diese Untersuchungen haben ergeben, daß der Verbrennungsproceß des Schießpulvers, weit entfernt davon, einen so einfachen, durch die vorstehenden Gleichungen ausgedrückten Verlauf zu nehmen, eine ungleich größere Mannigfaltigkeit von Produkten erzeugt. Auch die gegenwärtige Untersuchung der Minengase hat zu demselben Resultat geführt, wenn sie auch nur über die gasförmigen Verbrennungs-Produkte des angewandten Schießpulvers Auskunft geben kann.

Bunsen und Schischkoff[1]) ließen Jagd- und Scheibenpulver in einem sehr sinnreich construirten Apparat unter gewöhnlichen Atmosphärendruck und bei Ausschluß der atmosphärischen Luft verbrennen.

---

1) l. c. S. 325.

Der Apparat gestattete die gesonderte Aufsammlung der Gase, des verdichteten Pulverrauchs und des Verbrennungsrückstands, welche auch gesondert der Analyse unterworfen wurden. Aus den Resultaten wurden die Bedingungsgleichungen abgeleitet zur Berechnung der Menge der gasförmigen und festen Produkte, welche 1 Gramm Pulver bei seiner Verbrennung giebt. Linck[1]) führte ein Jahr später in dem Laboratorium von Bunsen mit denselben Apparaten und unter denselben Bedingungen die Analyse des Würtembergischen Kriegspulvers aus.

Die Arbeit von v. Károlyi[2]) datirt aus dem Jahre 1863 und hatte die Untersuchung der „Verbrennungsprodukte der Schießwolle und des Schießpulvers, erzeugt unter Umständen, welche analog jenen der Praxis sind", zum Gegenstande. v. Károlyi ließ die Schießwolle zunächst in der Torricelli'schen Leere eines 1 Meter langen Eudiometers abbrennen. Dann benutzte er zu demselben Zweck eine luftleer gemachte Bombe von 5216 CC. Inhalt. Die entsprechende Menge Schießbaumwolle von derselben Zusammensetzung wurde in einen kleinen Cylinder von Gußeisen eingepreßt, welcher durch einen Kopf verschlossen wurde, in welchem sich eine Vorrichtung zur galvanischen Zündung befand, deren Drähte durch den in die Oeffnung der Bombe eingeschraubten Kopf hindurch gingen. Dieser war zu gleicher Zeit mit einem Hahn versehen, durch welchen die Luft mittelst der Luftpumpe entfernt werden konnte. Die Menge der Baumwolle war so bemessen, daß die Gase nach der Explosion einen Ueberdruck von cc. einer halben Atmosphäre besaßen, durch welchen sie in die zur Analyse dienenden Apparate übergefüllt werden konnten. Die Verbrennungs-Produkte des österreichischen Geschütz- und Gewehrpulvers wurden in derselben Weise erhalten und analysirt.

Während der Untersuchung der Minengase fehlte es an Zeit und auch an den betreffenden Apparaten, um die unter gewöhnlichen Atmosphärendruck und bei Ausschluß der Luft entstehenden Verbrennungs-Produkte des in Neisse angewandten Sprengpulvers zu analysiren. Es erschien dieß aber auch für den Zweck dieser Untersuchung von geringerer Bedeutung, da die Pulvergase bei den Minensprengungen unter ganz anderen Bedingungen, im lufterfülltem Raum, unter Ueber-

1) Liebig's Annalen der Chemie Bd. 109 S. 53.

2) Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien Bd. 47 S. 59. Journal f. practische Chemie Bd. 90 S. 129.

windung eines bedeutenden Widerstandes und inmitten von Absorptions-Mitteln entstanden. Dagegen gaben die bei der Versuchsmine erhaltenen Resultate ein Mittel an die Hand, um wenigstens annähernd die procentische Zusammensetzung der unter so hohem Druck entstandenen Pulvergase zu berechnen und damit Anhaltspunkte zum Vergleich mit den von Bunsen, Linck und v. Károlyi erhaltenen Zahlen zu gewinnen.

Die bei der Explosion einer Quetschmine gebildeten Pulvergase erfüllen theils alle in der Mine selbst, in der Verdämmung und dem umgebenden Erdreich befindlichen Hohlräume, theils sind sie von der Verdämmung und dem Erdreich inniger gebunden, absorbirt. Die nicht absorbirten Gase verbreiten sich vom ersten Augenblick an frei nach allen Richtungen hin, sie dringen durch die Verdämmung in die offnen Gallerien und sind sowohl in diesen, als bei der Versuchsmine durch das eiserne Leitungsrohr gesammelt worden. Die absorbirten Gase werden von dem meist feuchten Verdämmungsmaterial und Erdreich fester gebunden, sie werden theils von diesem zersetzt, wie etwa vorhandener Schwefelwasserstoff, theils erst nach und nach frei, je nachdem der auf ihnen lastende Druck sich mindert oder sie durch atmosphärische Luft verdrängt werden. Es wird daher die Zusammensetzung der absorbirten Gase und jener, welche die Hohlräume der Verdämmung erfüllen, eine verschiedene sein, beide zusammen aber werden die Zusammensetzung der Verbrennungs-Gase des Sprengpulvers repräsentiren. Wir werden diese annähernd berechnen können, wenn wir wissen, wie viel und welche Gase von einem bekannten Volumen der dem Explosionsherde nahe liegenden Verdämmung, also in dem gegebenen Falle, von dem Rasen, sowohl absorbirt sind als auch dessen Hohlräume erfüllen. Das Ende des eisernen Gasleitungsrohrs mündete, wie bereits erwähnt, nach der Explosior der Mine noch in der Rasenverdämmung. Die Gase, welche unmittelbar nach der Explosion gesammelt wurden, repräsentiren daher den von der Verdämmung nicht absorbirten Antheil der Pulvergase. Die spätere Untersuchung der von dem Rasen absorbirten Gase (Analyse 16) dagegen zeigte zwar noch die Natur, aber sicher nicht mehr die in der ersten Zeit nach der Explosion absorbirte Quantität derselben. Es lagen sechs Tage zwischen dem ersten Aufsammeln der die Hohlräume erfüllenden und der Bestimmung der von dem Rasen absorbirten Gase. Die Zusammensetzung der im Verlauf dieser Zeit gesammelten Gase

ist in den Analysen Nr. 1—6 des Tableau enthalten und diese lassen die Aenderung in ihrer Zusammensetzung am besten erkennen, wenn die Pulvergase nach Abzug der wechselnden, mit ihnen gemischten atmosphärischen Luft auf 100 Theile berechnet werden

| Analyse | Nr. 1. | Nr. 2. | Nr. 3. | Nr. 4. | Nr. 5. | Nr. 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gas unmittelbar nach der Explosion gesammelt | $\frac{1}{4}$ Stunde später | 8 Stunden später | 8½ Stunden später | 30 Stunden später | 5 Tage später |
| Kohlensäure | 5,86 | 8,79 | 12,54 | 10,43 | 9,55 | 15,78 |
| Kohlenoxyd | 3,87 | 8,63 | 17,93 | 12,72 | 5,90 | 1,88 |
| Grubengas | | 0,51 | 0,82 | — | — | — |
| Wasserstoff | | 2,77 | 3,19 | 4,11 | 2,08 | — |
| Stickoxydul | 90,27 | — | — | 2,24 | 1,80 | 2,64 |
| Stickstoff | | 79,30 | 65,52 | 70,50 | 80,67 | 79,70 |
| | 100,00. | 100,00. | 100,00. | 100,00. | 100,00. | 100,00. |

Da Analyse Nr. 1 nur zum Theil gelang, so giebt Analyse Nr. 2 die Zusammensetzung der kurze Zeit nach der Explosion gesammelten Gase, welche die Hohlräume des Rasens erfüllen, während Analyse Nr. 16 die Zusammensetzung der Gase darstellt, welche der Rasen absorbirt hat. Da das specifische Gewicht und das Gewicht eines bekannten Volumens des Rasens bestimmt worden und damit also die Raumerfüllung desselben und seine Hohlräume in einem bestimmten Volumen bekannt sind: so sind damit alle Rechnungs-Elemente für die Zusammensetzung der in einem bekannten Volumen der Verdämmung überhaupt befindlichen Gase vorhanden. Wäre die Mine unmittelbar nach ihrer Explosion aufgeräumt worden, so würde das Verdämmungs-Material ungleich reicher an absorbirten Gasen gewesen sein. Nach sechs Tagen enthielt der Rasen ungefähr noch ein Viertel seines Volumens an Kohlensäure absorbirt. Nehmen wir an, was mindestens zuläßig ist, er habe in den sechs Tagen nur die Hälfte der ursprünglich absorbirten Gase abgegeben — diese Menge wird eine größere sein, wie wir aus der beständigen Zunahme der Kohlensäure in den Analysen Nr. 2 bis 6 zu schließen berechtigt sind —; so gelangt man nach Elimination der atmosphärischen Luft und unter Zugrundlegung der Analysen Nr. 2 und 16, sowie der Verdoppelung der durch die letztere gefundenen Gasmengen zu nachstehenden Resultaten.

Ein Liter Rasen enthält nach Analyse 16. 616 CC. feste Masse und 384 CC. Hohlräume. Davon enthalten

| | erstere absorbirt | | letztere | |
|---|---|---|---|---|
| Kohlensäure . . . | 251,6 | CC. | 13,2 | CC. |
| Kohlenoxyd . . . | — | „ | 13,0 | „ |
| Wasserstoff . . . | 3,8 | „ | 4,2 | „ |
| Grubengas . . . | — | „ | 0,7 | „ |
| Stickoxydul . . . | 2,8 | „ | — | „ |
| Stickstoff . . . . | 85,0 | „ | 119,6 | „ |
| | 343,2. | | 150,7. | |

in Summa also 494 CC. Pulvergase.

Hieraus berechnet sich die Zusammensetzung dieser Gase in 100 Theilen:

| | |
|---|---|
| Kohlensäure . . | 53,62 |
| Stickstoff . . . | 41,42 |
| Kohlenoxyd . . | 2,64 |
| Wasserstoff . . | 1,61 |
| Stickoxydul . . | 0,56 |
| Grubengas . . | 0,15 |
| | 100,00. |

Wenn wir die Wahrscheinlichkeit dieser Zahlen kritisch prüfen, so dürfte die Menge der Kohlensäure nach Allem, was wir von der Absorption derselben durch feste Körper wissen, zumal diese hier unter den günstigsten Verhältnissen erfolgte, eher zu niedrig als zu hoch gegriffen sein. Von der Zeit an, aus welcher das Material für die Analyse Nr. 2 stammte bis zum Aufräumen der Mine ist durch die in den Explosionsherd eindringende atmosphärische Luft jedenfalls eine größere Menge der absorbirten Kohlensäure aus der Verdämmung verdrängt worden, als oben in Rechnung gezogen worden ist.

Die Menge des Kohlenoxyds dürfte etwas zu niedrig ausgefallen sein, weil, nach seiner Zunahme in den drei ersten Analysen zu schließen, der Rasen zur Zeit des Auffammelns der Gase für die Analyse 2 noch eine kleine Quantität Kohlenoxyd absorbirt enthalten haben wird. Diese kann aber nur einen sehr kleinen Bruchtheil der Gesammtmenge ausmachen und wird daher die berechnete Zahl kaum eine Veränderung erleiden dürfen.

Dagegen ist es mehr als zweifelhaft, ob der bei der Analyse des Rasens gefundene Wasserstoff ursprünglich den Pulvergasen angehört, oder ob er bei der Analyse als secundäres Zersetzungsprodukt des von allen Beobachtern im Pulverrauche gefundenen anderthalb kohlensaurem

Ammonium erhalten worden ist. Dieses mußte sich in der nächsten Umgebung der Pulverkammer, also hier im Rasen verdichten. Wenn eine kleine Menge Ammoniak beim Auskochen desselben in den luftleeren Raum gelangte, so konnte es im weiteren Verlauf der eudiometrischen Analyse nur als Wasserstoff auftreten. Der Umstand, daß bei dieser Analyse das Kohlenoxyd mit salzsaurer Kupferchlorürlösung bestimmt worden war, steht dieser Annahme nicht entgegen, weil nach der Entfernung der mit Kupferchlorürlösung getränkten Kugel das Gas mit einer Kalihydratkugel getrocknet worden war und die Anwesenheit von bedeutend weniger als einem Milligramm Ammoniak bereits zur Erklärung der gefundenen Wasserstoffmenge ausreicht. So viel Ammoniak aber konnte leicht durch das Kalihydrat aus der am Quecksilber und den Wänden des Absorptionsrohrs haftend gebliebenen Kupferchlorürlösung entwickelt worden sein. Diese Annahme würde daher den Wasserstoffgehalt der bei der Sprengung der Mine entstandenen Pulvergase auf 0,85 pC. reduciren. Ich habe es jedoch vorgezogen, diese Correctur nicht anzubringen, weil ich das Ammoniak im Rasen nicht direct nachgewiesen habe und weil ich in den vorstehenden Zahlen nur den unmittelbaren Ausdruck der Analyse geben wollte, um so mehr als die in den Voraussetzungen dieser Rechnung nothwendig liegenden Fehlerquellen sich einigermaßen compensiren dürften.

Da die Analysen von Bunsen, Linck und von Károlyi die Anwesenheit des Stickoxyduls in den Pulvergasen nicht nachgewiesen haben, so liegt die Frage nahe, ob wir das in der Versuchsmine gefundene Stickoxydul als ein unmittelbares Verbrennungsprodukt des Schießpulvers oder auch als ein secundäres Zersetzungsprodukt des Pulverrückstandes anzusehen haben. Stickoxydul tritt nur in kleinen Mengen auf und zwar erst in den Analysen 4, 5 und 6 und in den Gasen des Rasens. Bei einer wiederholten, sorgfältigen Kritik gestatten die auf das Stickoxydul bezüglichen Zahlen keine andere Deutung, denn auch das constante Auftreten desselben in den Gasen der Mine und der Verdämmung zu einer Zeit, wo sein Erscheinen mit den ihm eigenthümlichen Absorptions- und Löslichkeits-Verhältnissen zusammenfällt, macht sein Vorhandensein sehr wahrscheinlich. Dieses Gas ist in Wasser weit löslicher, als alle hier auftretenden Gase und es wird auch in größerem Maaße von festen Körpern absorbirt, daher sein spätes Erscheinen in den Gasen der Versuchsmine und seine An-

wesenheit in den Gasen des Verdämmungsmaterials. Der nächstfolgende Abschnitt wird uns Gelegenheit zur Erörterung der wahrscheinlichen Ursache seiner Bildung geben.

Der Nachweis geringer Mengen von Grubengas in den Minengasen stimmt mit den Beobachtungen von v. Károlyi überein.

Auf den festen Verbrennungsrückstand des Sprengpulvers konnte keine Rücksicht genommen werden. Es wurden zwar vielfache Versuche gemacht, solche Rückstände aufzufinden, aber sie waren in dem lockeren Erdreich so vertheilt, daß man mit sehr zweifelhaftem Resultate größere Mengen Sand hätte auslaugen müssen, um ihre Natur zu bestimmen. Für den vorliegenden Fall war es nur von Wichtigkeit, größere Mengen von Schwefelkalium in dem Verdämmungsmaterial nachzuweisen, weil damit die von Josephson und Rawitz behauptete Schwefelwasserstoff-Entwicklung im nothwendigen Zusammenhange steht. Für die Unwahrscheinlichkeit dieser Behauptung sind in dem gegebenen Falle die Resultate der Versuchsmine entscheidend. Nur in der ersten Aufsammlung der Gase der Versuchsmine konnten Spuren von Schwefelwasserstoff nachgewiesen werden, schon eine halbe Stunde nach der Explosion der Mine waren sie verschwunden, denn die in den Apparat eingeschalteten Bleipapiere blieben von da ab bis zum letzten Tage der Aufsammlung unverändert. War die Ansicht von Rawitz über die Ursache der Schwefelwasserstoff-Entwicklung in den Minen richtig, dann mußte dieses Gas vorzugsweise in den späteren Gasaufsammlungen der Versuchsmine auftreten und sich auch in den Gasen des Verdämmungsmaterials nachweisen lassen. Schwefelkalium konnte jedoch nirgends nachgewiesen werden, so sorgfältig auch darnach gesucht wurde. Bei allen Auskochungen des Verdämmungsmaterials im luftleerem Raume wurde der Rückstand im Kolben, wie bereits früher erwähnt worden ist, auf seine Reaction, seinen Geruch und seine Wirkung auf Bleipapier untersucht. Reagenzpapiere blieben stets unverändert und selbst nach Zusatz von Säuren konnte nicht die geringste Spur von Schwefelwasserstoff wahrgenommen werden. Und dieß konnte auch nicht anders erwartet werden, da der etwa vorhandene, von dem feuchten Verdämmungsmaterial und Erdreich absorbirte Schwefelwasserstoff sehr bald durch den Einfluß des in allen Minengasen nachgewiesenen atmosphärischen Sauerstoffs unter Wasserbildung und Abscheidung von Schwefel zersetzt werden mußte.

Um nun auf die von mir versuchte Berechnung der Pulvergase zurückzukommen, so muß an dieser Stelle, um Mißverständnissen vorzubeugen, wiederholt hervorgehoben werden, daß die auf diese Weise erhaltenen Zahlen keinen Anspruch auf einen exacten Ausdruck der Zusammensetzung der bei der Explosion der Versuchsmine entstandenen Pulvergase des Sprengpulvers machen können, sie charakterisiren eben nur die Richtung und die Form, in welcher der Verbrennungsproceß des Pulvers unter den gegebenen Verhältnissen sich gestaltet hat. Diese aber lassen sie unzweifelhaft erkennen, und daher wird die Vergleichung der so gewonnenen Zahlen mit den Analysen von Bunsen, Linck und v. Károlyi genügende Anhaltspunkte zur Beurtheilung der bei den Minenexplosionen sich vollziehenden chemischen Processe liefern.

Wir lassen diese Vergleichung hier folgen:

| | 1. Jagdpulver nach Bunsen[1]). | 2. Würtembergisches Kriegspulver von Linck[2]). | 3. Oesterreichisches Gewehrpulver von v. Károlyi[3]). | 4. Oesterr. Geschützpulver von v. Károlyi[3]). | 5. In Neisse angewandtes Sprengpulver. |
|---|---|---|---|---|---|
| Salpeter | 78,99 pC. | 74,70 pC. | 77,15 pC. | 73,78 pC. | 72,00 pC. |
| Schwefel | 9,84 „ | 12,45 „ | 8,63 „ | 12,80 „ | 11,88 „ |
| Kohle | 11,17 „ | 12,84 „ | 14,27 „ | 13,39 „ | 16,12 „ |
| | 100,00. | 100,00. | 100,00. | 100,00. | 100,00. |

Die durch die Elementar-Analyse gefundene Zusammensetzung der Kohle ist bei

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|---|---|---|---|---|---|
| Kohlenstoff | 7,69 | 9,05 | 11,78 | 10,88 | 12,10 |
| Wasserstoff | 0,41 | 0,41 | 0,42 | 0,38 | 0,46 |
| Sauerstoff | 3,07 | 2,78 | 1,79 | 1,82 | 3,56 |
| Asche . . . | — | 0,60[4]) | 0,28 | 0,31 | — |
| | 11,17 | 12,84 | 14,27 | 13,39 | 16,12 |

Die gasförmigen Verbrennungsprodukte vorstehender Pulversorten ergaben in 100 Volumtheilen

1) Poggendorff Annalen Bd. 102 S. 321.

2 Liebig, Annalen der Chemie Bd. 109 S. 53.

3) Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Bd. 47 S. 59. Journal f. practische Chemie Bd. 90 S. 129.

4) Wassergehalt des Pulvers.

| | 1. Jagdpulver bei gewöhnlichem Atmosphärendruck abbrennend nach Bunsen. | 2. Würtemb. Kriegspulver ebenfalls frei abbrennend nach Linck. | 3. Oester. Gewehrpulver | 4. und Geschützpulver | 5. Berechnete Zusammensetzung der Pulvergase des zu den Minensprengungen verwandten Geschützpulvers. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | in einer luftleeren Bombe und unter Zersprengung einer Metallhülse explodirend nach v. Károlyi. | | |
| Stickstoff | 41,12 pC. | 34,68 pC. | 35,33 pC. | 37,58 pC. | 41,42 pC. |
| Kohlensäure | 52,67 = | 52,14 = | 48,90 = | 42,74 = | 53,63 = |
| Kohlenoxyd | 3,88 = | 4,33 = | 5,18 = | 10,19 = | 2,63 = |
| Wasserstoff | 1,21 = | 1,63 = | 6,90 = | 5,93 = | 1,61 = |
| Schwefelwasserstoff | 0,60 = | 7,18 = | 0,67 = | 0,86 = | — = |
| Grubengas | — = | — = | 3,02 = | 2,70 = | 0,15 = |
| Stickoxydul | — = | — = | — = | — = | 0,56 = |
| Sauerstoff | 0,52 = | 0,04 = | — = | — = | — = |
| | 100,00. | 100,00. | 100,00. | 100,00. | 100,00. |

In 100 Gewichtstheilen sämmtlicher Verbrennungsprodukte sind enthalten:

| | 1. | 2. | 3. | 4. |
|---|---|---|---|---|
| Schwefelsaures Kali . . | 42,27 pC. | 28,91 pC. | 36,17 pC. | 36,94 pC. |
| Kohlensaures Kali . . . | 12,64 = | 15,37 = | 20,78 = | 19,40 = |
| Unterschwefelsaures Kali | 3,27 = | 3,74 = | 1,77 = | 2,85 = |
| Schwefelkalium . . . . . | 2,13 = | 9,59 = | — = | 0,11 = |
| Schwefelcyankalium . . | 0,30 = | 1,16 = | — = | — = |
| Salpetersaures Kali . . | 3,72 = | 1,20 = | — = | — = |
| Kohle . . . . . . . . . . | 0,73 = | 1,83 = | 2,60 = | 2,57 = |
| Schwefel . . . . . . . . | 0,14 = | 0,31 = | 1,16 = | 4,69 = |
| $^3/_4$ kohlens. Ammonium | 2,86 = | 2,04 = | 2,66 = | 2,68 = |
| Stickstoff . . . . . . . . | 9,98 = | 9,52 = | 10,06 = | 9,77 = |
| Kohlensäure . . . . . . | 20,12 = | 22,39 = | 21,79 = | 17,38 = |
| Kohlenoxyd . . . . . . . | 0,94 = | 1,18 = | 1,47 = | 2,64 = |
| Wasserstoff . . . . . . . | 0,02 = | 0,03 = | 0,14 = | 0,11 = |
| Schwefelwasserstoff . . . | 0,18 = | 2,38 = | 0,23 = | 0,27 = |
| Sauerstoff . . . . . . . | 0,14 = | 0,01 = | — = | — = |
| Grubengas . . . . . . | — = | — = | 0,49 = | 0,40 = |
| Verlust . . . . . . . . | 0,56 = | 0,34 = | 0,68 = | 0,19 = |
| | 100,00. | 100,00. | 100,00. | 100,00. |

Die von einem Gramm Pulver erhaltene Gasmenge betrug bei 0° und 0,760$^{m}$ Druck bei

| 1. | 2. | 3. | 4. |
|---|---|---|---|
| 193,1 CC. | 218,35 CC. | 226,59 CC. | 206,91 CC. |

Bei diesen Analysen tritt uns zunächst eine Mannigfaltigkeit der Zersetzungsprodukte entgegen, welche weit entfernt von der einfachen Form ist, unter welcher man sich früher die Verbrennung des Schießpulvers vorzustellen pflegte. Nur der Stickstoff des Salpeters findet sich, jenen Vorstellungen entsprechend, bis auf einen kleinen Bruchtheil fast vollständig in den Pulvergasen wieder. Dagegen ist der Kohlenstoff, dessen ganze Menge nach der früheren Ansicht hier als Kohlensäure in den Pulvergasen auftreten mußte, nur zum Theil in dieser Form darin enthalten, da auch Kohlenoxyd und Grubengas vorhanden sind. Ein anderer, nicht unbeträchtlicher Theil des Kohlenstoffs befindet sich in dem kohlensaurem Kali, welches mit schwefelsaurem Kali den festen Pulverrückstand bildet, während dieser der älteren Theorie nach nur aus Schwefelkalium bestehen sollte. Dieses fehlt aber in Analyse 1 ganz, ist in Analyse 2 nur in Spuren vorhanden und beträgt selbst in Analyse 3 kaum den siebenten Theil des festen Rückstands. Diesen vollständig veränderten Verhältnissen entsprechend ist nun auch die Gesammtmenge der entwickelten Gase eine ungleich geringere. Anstatt der durch die ältere Theorie geforderten Menge von 330 CC. Gas liefert hier ein Gramm Pulver höchstens 226,5 CC. Gas.

Ein weiterer Blick auf die Zahlen dieser Analysen lehrt, daß bei aller Mannigfaltigkeit der Verbrennungsprodukte diese doch bei allen Pulversorten von fast gleicher Natur und nur in ihren relativen Mengen verschieden sind, obwohl durchaus nicht dieselben Bedingungen bei ihrer Entstehung mitwirkten. Daraus schließt v. Károlyi[1]), daß „im Wesentlichen die Verbrennungsprodukte beim Pulver von der Art, wie ihre Verbrennung geschieht, wenig abhängig sind", daß vielmehr die Dosirung des Pulvers hier vorzugsweise ins Gewicht fällt. Eine nähere Prüfung der vorliegenden Analysen scheint jedoch zu dem entgegengesetzten Schlusse zu führen, daß nämlich die Verbrennungsprodukte innerhalb gewisser Grenzen ziemlich unabhängig von der Dosirung des Pulvers auftreten, daß dagegen ihre Zusammensetzung von den Be-

1) l. c. S. 76.

dingungen, unter denen die Verbrennung geschieht, ganz bestimmt beeinflußt wird.

In dem Verbrennungsrückstande von 1 und 2 befindet sich Salpeter, Kohle und Schwefel, in jenem von 3 und 4 Kohle und Schwefel, welche keinen Antheil an der Verbrennung des Pulvers genommen haben. Wir werden ihre Mengen von den Bestandtheilen des betreffenden Pulvers abziehen müssen, um ein klares Bild des hier vorliegenden chemischen Prozesses zu gewinnen. Stellen wir die Zusammensetzung der 4 Pulversorten nach Abrechnung der unverbrannten Theile und so zusammen, daß wir bei der Kohle nur den in ihr enthaltenen Kohlenstoff berücksichtigen, so erhalten wir folgende Zahlen:

| | 1. | 2. | 3. | 4. |
|---|---|---|---|---|
| Salpeter . . | 75,27 | 73,50 | 77,15 | 73,78 |
| Schwefel . . | 9,70 | 12,14 | 7,47 | 8,11 |
| Kohle . . . . | 7,18 | 7,76 | 9,63 | 8,79 |

Wenn wir diese einander sehr nahe liegenden Zahlen mit der ursprünglichen, so sehr verschiedenen Dosirung der vier Pulversorten vergleichen, so tritt uns sofort die nivellirende Thätigkeit des Verbrennungsprocesses vor Augen, welcher innerhalb der hier gezogenen Grenzen nur bestimmte, von der Dosirung unabhängige Mengen von Salpeter, Schwefel und Kohlenstoff in Wechselwirkung treten läßt und das vorhandene Mehr derselben einfach von der chemischen Action ausschließt.

Wenn wir aus den Analysen 3 und 4, bei denen die Explosion des Pulvers unter den Verhältnissen seiner praktischen Verwerthung stattgefunden hat und der Salpeter vollständig zersetzt worden ist, das Aequivalenten-Verhältniß seiner Bestandtheile berechnen, so kommen wir auf den ziemlich einfachen annähernden Ausdruck, daß 5 Aequivalente Salpeter, 3 Aequivalente Schwefel und 10 Aequivalente Kohlenstoff in chemische Wechselwirkung getreten sind, mit einem ganz kleinen Ueberschuß von Schwefel für Nr. 4. Dieß giebt für 100 Theile, wenn wir den Kohlenstoff wieder als Kohle berechnen, folgende Zusammensetzung:

| | |
|---|---|
| Salpeter . . . | 80,66 |
| Schwefel . . . | 7,67 |
| Kohle . . . . . | 11,67 |

welche ziemlich genau die Zusammensetzung des englischen Pulvers von

Dartford[1]) und annähernd des Pulvers von Curtis und Harvey[2]) ausdrückt und sich, wenigstens der von Meyer[3]) angegebenen Zusammensetzung des Pulvers von Champy nähert.

Aus diesem Verhalten bei der Explosion erklärt sich einfach, warum eine Anzahl anerkannt guter Pulversorten bei einer verschiedenen Dosirung doch gleich brauchbare Resultate geben. Der Verbrennungsproceß ist der ausgleichende Factor, denn wir werden es wohl als keinen Zufall bezeichnen dürfen, daß das Oesterreichische Geschützpulver durch Abwerfen von 4,69 pC. Schwefel und 2,57 pC. Kohle sich bei der Explosion mit dem Oesterreichischen Gewehrpulver ins Gleichgewicht setzt, welches seinerseits auch 2,6 pC. Kohle und 1,16 pC. Schwefel außer Thätigkeit stellt. Ob sich zur Zeit daraus praktische Winke für die Dosirung des Pulvers ergeben, muß dahin gestellt bleiben, da diese beiden Analysen allein für allgemeine Schlüsse nicht ausreichen. Die Vervielfältigung dieser Untersuchungen und ihre Ausdehnung auf die anerkannt besten Pulversorten und unter ihnen namentlich auf das preußische Kriegspulver erscheint daher unter diesen Umständen recht wünschenswerth.

Was nun den durch die beiden Analysen 3 und 4 ausgedrückten chemischen Vorgang selbst anlangt, so hat hier der Schwefel den Sauerstoff des Salpeters vorzugsweise für sich in Anspruch genommen, da mit Ausnahme einer kleinen Menge von unterschwefligsaurem Kali nur schwefelsaures Kali gebildet worden ist. Der Kohlenstoff oxydirte sich ungleich, da das Geschützpulver noch einmal so viel Kohlenoxyd bildete als das Gewehrpulver, obgleich in beiden Fällen noch überschüssiger Kohlenstoff vorhanden war. Man fühlt sich daher zu der Annahme versucht, daß bei der Explosion des Pulvers im ersten Moment nur Kohlensäure entstehe und erst in einem zweiten Moment ein Theil derselben durch noch vorhandenen Kohlenstoff zu Kohlenoxyd reducirt werde. Dafür spricht die Beobachtung, daß selbst bei den an Kohle reichsten Pulversorten stets eine nicht unbedeutende Menge von Kohlensäure entsteht. Unter solchen Umständen erscheint die Kohlenoxydbildung bei der Verbrennung dieser beiden Pulversorten unabhängig von ihrer Dosirung.

---

1) Liebig, Handwörterbuch der Chemie B. 7 S. 311.
2) Ebendaselbst S. 311.
3) Otto, Lehrbuch der Chemie 2 Band. 2 Abth. S. 194.

Vergleichen wir nun das Würtembergische Kriegspulver und das Oesterreichische Geschützpulver, deren Dosirung fast genau dieselbe ist, so kann der Unterschied in den Verbrennungsprodukten kaum größer sein. Während das letztere in 100 Raumtheilen seiner Verbrennungsgase 42,74 pC. Kohlensäure, 10,19 pC. Kohlenoxyd und nur 0,86 pC. Schwefelwasserstoff enthält, finden wir unter den gasförmigen Produkten des ersteren 52,14 pC. Kohlensäure, nur 4,33 pC. Kohlenoxyd, dagegen aber 7,18 pC. Schwefelwasserstoff und im Pulverrückstand 14,94 pC. Zweifach-Schwefelkalium, während das erstere nur 0,16 gr.[1]) Einfach-Schwefelkalium enthält.

Auch das von Bunsen analysirte Jagdpulver und das Würtembergische Kriegspulver gaben nicht ihrer Dosirung entsprechende Resultate, denn dann hätte bei einem analogen Verlauf des unter gleichen Umständen sich vollziehenden Verbrennungsprocesses das letztere fast noch einmal so viel schwefelsaures Kali und bedeutend mehr Kohlenoxyd unter Verminderung der Kohlensäure geben müssen.

Wenn nun also auch im Allgemeinen der Verbrennungsproceß die Dosirung des Pulvers bei Ausschluß der atmosphärischen Luft corrigirt, so scheint doch innerhalb der in Wirkung tretenden Gewichtsmengen der Pulverbestandtheile das Spiel der chemischen Kräfte sich völlig frei zu bewegen. Der Sauerstoff des Salpeters hat die Wahl zwischen seiner Verbindung mit dem Schwefel und dem Kohlenstoff, und unter ganz gleichen Bedingungen oxydirt er bald von dem einen, bald von dem anderen eine größere Menge, entsteht bald mehr, bald weniger Kohlenoxyd. Tritt daher der Einfluß der Dosirung des Pulvers auf die relativen Mengen der Verbrennungsprodukte mehr in den Hintergrund, so müssen wir nach den vorliegenden Analysen ein größeres Gewicht den Bedingungen einräumen, unter denen das Pulver explodirt. Bei den Untersuchungen von Bunsen und Linck geschah dieß bei Ausschluß der atmosphärischen Luft und unter gewöhnlichem Atmosphären-Druck. v. Károlyi ließ seine Pulverproben unter dem Druck explodiren, welcher nothwendig war, eine gußeiserne Röhre zu sprengen, und fing die Gase im luftleeren Raum der Bombe auf. Dieser dadurch veranlaßte Unterschied in den Verbrennungsprodukten spricht sich namentlich in der vollständigen Zersetzung des Salpeters,

1) In meiner Beleuchtung der Scheibemann'schen Schrift ist Seite 21 Zeile 3 v. o. 0,16 statt 1,6 Schwefelkalium zu lesen.

in der fast vollständigen Oxydation des Schwefels, dem Mangel an Schwefelwasserstoff und Schwefelalkalien und dem Mehrgehalt an Kohlenoxyd aus. Die ungleich höhere Temperatur, bei welcher in dem letzteren Falle die Verbrennungsprodukte entstehen, begünstigt die vollständige Oxydation des Schwefels, aber wenig die Bildung des Schwefelwasserstoffs, während sie zu gleicher Zeit die Reduction der Anfangs entstandenen Kohlensäure erleichtert.

Wie die Zusammensetzung der Verbrennungsprodukte sich gestaltet hätte, wenn v. Károlyi die beiden Pulversorten unter gewöhnlichen Atmosphären-Druck hätte abbrennen lassen, wissen wir zwar nicht, aber wir haben in den beiden Analysen der Schießbaumwolle von v. Károlyi ein bedeutsames Zeugniß dafür, daß die Art des Abbrennens nicht gleichgültig für die Zusammensetzung und Natur der Verbrennungsprodukte ist. v. Károlyi ließ, wie bereits erwähnt, die Schießbaumwolle theils in der Torricelli'schen Leere eines Eudiometers von 1 Meter Länge, theils unter Zersprengung einer Metallhülse in einer luftleeren Bombe explodiren. Im ersteren Falle hatten die Gase keinen Widerstand zu überwinden, im zweiten hatten sie Arbeit zu verrichten. Das Gasgemenge enthielt in 100 Volumtheilen

| | im ersten Fall 1. | | im zweiten Fall 2. | |
|---|---|---|---|---|
| Kohlenoxyd . . | 28,55 | pC. | 28,95 | pC. |
| Kohlensäure . . | 19,11 | „ | 20,82 | „ |
| Grubengas . . | 11,17 | „ | 7,24 | „ |
| Stickoxydgas . | 8,83 | „ | — | „ |
| Wasserstoff . . | — | „ | 3,16 | „ |
| Stickstoff . . . | 8,56 | „ | 12,67 | „ |
| Kohle . . . . . | 1,85 | „ | 1,82 | „ |
| Wasser . . . . | 21,93 | „ | 25,34 | „ |
| | 100,00. | | 100,00. | |

Der Unterschied der unter diesen verschiedenen Bedingungen erhaltenen Gase springt in die Augen. Während die im luftleeren Raum erzeugten Schießwollgase eine bedeutende Menge Stickoxydgas enthalten, wird beim Verbrennen der Schießwolle unter dem richtigen Widerstande die Stickstoffverbindung zu Gunsten der im Grubengase vorhandenen Kohle und des Wasserstoffs desoxydirt und hierdurch eine Vermehrung des Kohlenoxyds, der Kohlensäure, des Wassers, des Stickstoffs und eine Abscheidung freien Wasserstoffs veranlaßt.

Aus der ganzen vorstehenden Erörterung geht daher unzweifelhaft hervor, daß die Dosirung des Pulvers keinen Schluß auf die Natur und die relativen Mengen der Verbrennungsprodukte des Schießpulvers gestattet, da diese, wie jene der Schießwolle, je nach den Bedingungen, unter denen die Explosion bei der Analyse stattfindet, eine verschiedene Zusammensetzung zeigen.

Es sind daher die Schlüsse, welche Scheidemann und Eulenberg aus der Zusammensetzung des Preußischen Kriegspulvers und des Minenpulvers auf die Zusammensetzung seiner Verbrennungsprodukte ziehen, schon aus diesem Grunde nicht zulässig, sie sind aber noch weit weniger anwendbar auf die Explosion des Pulvers in den Minen, bei dessen Verbrennung die atmosphärische Luft, welche die Pulverkammer und alle Hohlräume ihrer Umgebung erfüllt, den bedeutsamsten Antheil nimmt.

Diese Bedeutung der atmosphärischen Luft für den Verbrennungs-Proceß des Schießpulvers erhellt einfach aus der Erwägung, daß wir durch Zufuhr von genügendem Sauerstoff die Bestandtheile des Pulvers vollständig in Kohlensäure, Wasser, Stickstoff und in schwefelsaures und kohlensaures Kali überführen können, eine Thatsache, welche von Weltzien[1]) zur Bestimmung des Kohlenstoffs, Wasserstoffs und Schwefels des Pulvers in einer Operation, durch die Elementar-Analyse, verwerthet worden ist. Einen gleichen Einfluß übt der Sauerstoff auf die bei Ausschluß der atmosphärischen Luft entwickelten Pulvergase aus, er führt sie bei höherer Temperatur in Kohlensäure, Wasser und Stickstoff über. Es ist dieß genau derselbe Vorgang, welchen die eudiometrische Analyse zur Bestimmung der brennbaren Gase benutzt, es vollzieht sich dieser Prozeß in der Feuergarbe, welche nach der Kugel das Geschütz verläßt, und derselbe Prozeß wurde endlich in den Flammen sichtbar, welche bei dem in einer finstern Nacht gesprengten Trichter Nr. II unter der mächtigen Sandwolke hervorbrachen.

Die atmosphärische Luft spielt aber überhaupt bei der Entzündung und raschen Verbrennung des Pulvers eine Hauptrolle. Das Pulver entzündet sich nur bei der Glühhitze, also nur bei Berührung mit einem glühenden Körper oder einer intensiven Flamme, wie jener des Knallquecksilbers in den Zündhütchen oder der Zündpille des Zünd-

1) Liebig's Annalen der Chemie B. 90 S. 129.

nadelgewehrs. Wird die Temperatur des Pulvers allmälig gesteigert, so schmilzt und verdampft ein Theil des Schwefels, und erst die Entzündung des letzteren durch den atmosphärischen Sauerstoff bewirkt die Verbrennung der übrigen Pulvermasse. Im luftleeren Raume gelingt es daher durch vorsichtiges Erhitzen den Schwefel ohne Entzündung des Pulvers vollständig zu verdampfen. Nach einer Beobachtung von Hearder[1]) blieb ein Platindraht, welcher vermittelst eines galvanischen Stroms zum Glühen erhitzt wurde, im luftleeren Raume ohne Wirkung auf Pulver, während sich dieß sofort entzündete, wenn man Luft in die Glocke eintreten ließ. Wenn nun auch Schrötter[2]) später nachgewiesen hat, daß Pulver im Vacuum einer Luftpumpe bei raschem Erhitzen stets explodirt, so gestattet die erstere Beobachtung doch den Schluß, welcher jetzt auch allgemeine Geltung erlangt hat, daß die Entzündung des Pulvers stets von der Kohle ausgeht, indem diese unter dem Einfluß atmosphärischen Sauerstoffs zuerst Feuer fängt. Die auf solche Weise bewirkte Entzündung des Pulvers pflanzt sich jedoch nicht unter allen Umständen gleich rasch fort. Fest in Hülsen eingestampftes Mehlpulver, wie in den Raketen und Schwärmern, brennt nur von der entzündeten Oberfläche aus sprühend und langsam ab, während das gekörnte Pulver sich sofort durch seine ganze Masse entzündet, mag dieselbe noch so groß sein. Der Feuerstrahl der zuerst entzündeten Körner schießt nach allen Seiten hin in die mit Luft erfüllten Zwischenräume, deren Sauerstoff sofort an der Verbrennung Antheil nimmt, dadurch die Temperatur derselben beträchtlich steigert und damit die Triebkraft der Pulvergase wesentlich vermehrt. Bei ihrer unbegrenzten Elasticität schützt die Luft im ersten Moment der Explosion durch ihre Compression das Geschützrohr vor der Wirkung des gewaltigen Drucks, vor dem Zerspringen, während sie dann durch ihre Expansion zu einer nachhaltigen Triebkraft beiträgt. Daher schließt man beim Werfen von schweren Projectilen oder beim Sprengen von Minen, wie bei der berühmten Sprengung des Round-Down Felsens der Shakespeare-Klippe während des Baues der Eisenbahn bei Dover, oft absichtlich Luft in die Pulverkammer ein und erhöht damit ebensowohl die Temperatur des Explosionsheerdes, als die expansiven Wirkungen der Pulvergase. Die Verstärkung der explosiven

1) Liebig's Handwörterbuch B. 7 S. 324.
2) Wagner, chemische Technologie, 6. Auflage S. 152.

Kraft des Pulvers bei Minensprengungen durch Beimischnng von Sägespänen findet ihre Erklärung jedenfalls nur in der Vermehrung des Luftvolumens innerhalb der Pulvermasse durch das lockere Material, welches als solches kaum Antheil an der Verbrennung nehmen wird. Vielleicht dürfte dem größeren Kohlegehalt der Minen- und Sprengpulver auch nur diese Function zufallen. Eine Beimengung von ungelöschten Kalk zum Pulver mußte sich natürlich nachtheilig erweisen, weil dadurch das Pulver nichts weniger als aufgelockert wird[1]).

Die Wirkung der im Pulver eingeschloßnen Luft, welche nach Heeren bis 30 pC. des Volumens betragen kann und die Theilnahme der Luft, welche die Pulverkammer umgiebt, an dem Verbrennungsproceß des Pulvers muß die brennbaren Bestandtheile der Pulvergase wesentlich vermindern. In dieser Beziehung verleugnen die von mir untersuchten Pulvergase des in Neisse angewandten Sprengpulvers keinen Augenblick die Bedingungen ihres Ursprungs. Im Allgemeinen zeigen sie zwar dieselbe Natur und Mannigfaltigkeit der Verbrennungsprodukte wie die Pulversorten 1—4, enthalten aber durchaus nicht dieselben relativen Mengen. Während die Pulvergase des österreichischen Geschützpulvers sich mit einem brennenden Span gradezu anzünden lassen und cc. 20 pC. brennbare Gase enthalten, so finden sich in diesen kaum 4,19 pC. brennbare Gase, kein Schwefelwasserstoff, Spuren von Grubengas und nur 2,6 pC. Kohlenoxyd, obgleich der bedeutende Kohlegehalt des Pulvers eine ungleich größere Menge grade dieses letzteren Gases erwarten ließ. Die bedeutende Vermehrung der Kohlensäure steht damit im nothwendigen Zusammenhang.

Der Antheil der atmosphärischen Luft an der Verbrennung der Pulvergase in der Versuchsmine tritt so bestimmt und unzweideutig auf, daß wir vermuthen dürfen, der atmosphärische Sauerstoff werde unter den günstigen Verhältnissen, wie sie ein, mehrere Tage fortgesetzter Minenkrieg bietet, die brennbaren Bestandtheile der Pulvergase vollständig zu Wasser und Kohlensäure oxydiren. Da in diesem Falle überhaupt nur Kohlensäure und Stickstoff als Pulvergase auftreten würden, so wäre damit eine Forderung der älteren Theorie des Schießpulvers, allerdings unter wesentlich anderen Voraussetzungen,

---

1) Dziobek, Taschenbuch für den preußischen Ingenieur S. 465.

erfüllt. Wir werden in dem nächsten Abschnitt die Bedingungen zu erörtern haben, unter denen eine so vollständige Verbrennung des Pulvers in den Minen möglich ist und auch wirklich eintreten kann.

## Der chemische und physikalische Prozeß bei der Explosion einer Quetschmine.

Die chemischen und physikalischen Vorgänge im Innern einer Mine werden sich zwar während der Explosion der unmittelbaren Beobachtung entziehen, es liegt aber wissenschaftliches Material genug vor, um diese Prozesse unter Benutzung der in dem vorhergehenden Abschnitt erörterten Thatsachen in ihren einzelnen Momenten verfolgen zu können.

Die Figuren 3 und 4 auf Tafel III stellen die geladene Versuchs-Quetschmine dar, deren Ort auf dem Plan-Directeur in unmittelbarer Nähe der Enveloppen-Gallerie leicht aufzufinden sein wird. Figur 4, ihr Vertical-Durchschnitt, erläutert ihre Structur und läßt die bereits früher geschilderten allgemeinen Verhältnisse, die etwas seitliche Lage der Pulverkammer, die Länge der Verdämmung, die Natur und Aufeinanderfolge des Verdämmungs-Materials, die Wirkungsphäre der Explosion, sowie das nach der Pulverkammer führende und zur Aufsammlung der Gase dienende Gasrohr deutlich erkennen. Die Ladung betrug zwar nur 30 Pfund, da aber ihre kürzeste Widerstandslinie in der Richtung der Verdämmung lag, so war ihre Wirkung der Beobachtung leichter zugänglich und auch bedeutend genug, um die Verheerungen einer Mine mit größerer Pulverladung treu wieder zu spiegeln. Für unseren Zweck werden wir vorzugsweise nur die Beobachtung einer normalen Quetschmine ohne sonderliche oberirdische Wirkung ins Auge fassen können, da das Auswerfen eines Trichters die Verhältnisse, unter denen sich die Pulvergase im Boden verbreiten,

wesentlich ändert. Der bei weitem größte Theil derselben entweicht dann in die Atmosphäre und beeinflußt nur in geringerem Maaße die Zusammensetzung der Minengase.

Bei der Explosion einer Mine nimmt zuerst die in den Zwischenräumen des Pulvers befindliche Luft, welche auf Grund bekannter Rechnungs-Elemente, — das durchschnittliche Gewicht eines Kubik-Centimeters Pulver, sein gravimetrisches Gewicht, gleich einem Gramm, und das specifische Gewicht gleich 2, — bei den angewandten 15 Kgl. Sprengpulver cc. 1500 CC. Sauerstoff enthält, Antheil an der Verbrennung der Pulvergase, sie ist ja überhaupt, wie in dem vorigen Abschnitt gezeigt worden ist, die nothwendige Vorbedingung für eine rasche Entzündung und Verbrennung des Pulvers. Die in schnell auf einander folgenden Momenten sich entwickelnde Gasmenge wird die ganze unmittelbare Umgebung der Pulverkammer in die Bewegung der Pulvergase hinein reißen, es wird im Innern des Explosionsherdes wie in einem großen Wirbel Alles durcheinander geworfen werden, wie dieß stets bei dem Aufräumen der gesprengten Gallerien gefunden wird und wie dieß auch bei der Versuchsmine der Fall war. Rasen, Luftziegel und Sand waren wild durcheinander geworfen, die Rahmen waren zerdrückt, so daß später hier weniger von einem Aufräumen der Gallerie als von einem neuen Vorgehen in der Richtung derselben die Rede sein konnte. Die vorderen drei Fuß des eisernen Leitungsrohrs waren durch die Explosion nicht abgebrochen, sondern ohne Verletzung des übrigen Rohrs aus der an dieser Stelle befindlichen Verschraubung herausgerissen worden und konnten in der Richtung der Gallerie nicht wieder aufgefunden werden. Auf solche Weise gelangt nun die Luft der Erd- und Verdämmungsschichten in die Verbrennungssphäre der Pulvergase, und wir werden jetzt zu untersuchen haben, in wie weit während der Explosion die Bedingungen einer mehr oder weniger vollständigen Verbrennung derselben, ausreichender Sauerstoff und die zur Entzündung nothwendige Temperatur, vorhanden sind.

Die Menge der in dem Explosionsherde der Versuchsmine vorhandenen Luft wird sich aus der von mir bestimmten Raumerfüllung des Sandes und des zur Verdämmung verwandten Materials berechnen lassen. In einem Liter lufttrocknem Sande fand ich in wiederholten Versuchen cc. 655 CC. feste Masse und 345 CC. Hohlräume. In einem Liter Rasen sind cc. 616 CC. feste Masse und 384 CC. Hohlräume und in einem Liter Lehmziegel, wie sie sich in der Verdämmung

geschichtet befinden, cc. 565 CC. feste Masse und 435 CC. Hohlräume enthalten. Die Scheitholzlagen werden unbedingt größere Hohlräume, als die Lehmziegel, zwischen sich offen lassen. Bei der wechselnden Dichtigkeit der sandigen Bodenschichten des Minenterrains, überhaupt bei der so veränderlichen Natur der hier in Rechnung zu ziehenden Factoren, werden wir uns von den Grenzwerthen nicht allzu sehr entfernen, wenn wir bei unserer Rechnung von der Annahme ausgehen, daß die Pulverkammer von allen Seiten von Sand umgeben sei und dieser in einem Liter nur 300 CC. Hohlräume enthalte. Nehmen wir dann als den Explosionsherd der Versuchsmine eine Halbkugel von 2 Meter Radius an — er war in der That 3 Meter — so berechnet sich deren Inhalt auf 16,8$^{cm}$, davon sind unter diesen Voraussetzungen 5,04$^{cm}$ lufterfüllter Raum, deren fünfter Theil, 1,008$^{cm}$ = 1008 Liter, bei normaler Luft Sauerstoff sein wird. Bei der weiteren Annahme, daß das zur Sprengung der Mine verwandte Pulver im luftleeren Raume dieselben Zersetzungsprodukte in derselben relativen Menge wie das von Károlyi untersuchte österreichische Geschützpulver gegeben haben würde, würden sich aus den 15 Kgr. Pulver cc. 611 Liter brennbare Gase entwickelt haben, zu deren vollständiger Verbrennung zu Kohlensäure und Wasser cc. 458 Liter Sauerstoff nothwendig gewesen wären, also kaum die Hälfte des oben berechneten, im Explosionsherde der Mine vorausgesetzten Sauerstoffs, falls die dort enthaltene Luft in der That als normale atmosphärische Luft anzusehen ist.

Es wird daher nicht blos nachzuweisen sein, daß die Menge der in den tieferen Erdschichten vorhandenen Luft, sondern auch daß der darin enthaltene Sauerstoff für diesen Verbrennungsproceß ausreicht.

Es ist zunächst keinem Zweifel unterworfen, daß die Haupt- und Nebengallerien einer Mine bis in ihre letzten Verzweigungen hin genügenden Sauerstoff enthalten müssen, um den Aufenthalt der Arbeiter und das Laden der Mine zu ermöglichen. Die von mir ausgeführten Analysen Nro. 9—13 zeigen, daß die während des Minenkriegs durch den Ventilator gesammelte Luft 19,37—20,45 pC. Sauerstoff enthielt. Nach Analysen von Boussingault und Lewy[1]) enthielt die Luft in der Tiefe von 16 Zoll bei gedüngtem Sandboden im Mittel noch 19 pC. Sauerstoff. Da die organischen Reste mit der Tiefe und namentlich in dem losen Sandboden, aus welchem das ganze

1) Liebig's Jahresbericht der Chemie 1852 S. 783.

für den Minenkrieg bestimmte Terrain in Neisse bestand, immer mehr abnehmen, so ist kein Grund zu der Annahme vorhanden, daß die in den Erdboden tiefer eindringende Luft an Sauerstoff wesentlich ärmer sein sollte, als jene der oberen Schichten, um so mehr als das Regenwasser den tieferen Schichten beständig eine an Sauerstoff weit reichere Luft zuführt, welche nach Baumert[1]) fast 34 pC. davon enthält. Analysen von Luft aus tieferen, vollständig geschlossenen Erdschichten sind mir nicht bekannt. Die Gelegenheit, die in einem System von Drainröhren circulirende Luft zu untersuchen, war mir ebensowenig geboten, als ich im vorigen Jahre dazu gelangen konnte, ein längeres Gasleitungsrohr in die dem Niveau des Minengefechtfeldes entsprechenden Erdschichten zu führen, um den Gehalt der im Innern derselben vorhandenen Luft an Sauerstoff zu bestimmen. Wenn nun auch directe Analysen der Art fehlen, so gestattet doch der Gasgehalt der Quellen, welche die in geringeren oder größeren Tiefen abgeteuften Brunnen mit Wasser versorgen, auf Grund der Absorptions-Gesetze einen Schluß auf die Zusammensetzung der Luft, welche in jenen Tiefen diese Wasseradern umgiebt. Aus einer großen Anzahl mir vorliegender Analysen von Quell- und Brunnenwässern, welche den Jahresberichten der Chemie von Liebig, Kopp und Will entnommen sind, geht hervor, daß das Verhältniß des vom Wasser gelösten Sauerstoffs zum Stickstoff sich dem Verhältniß dieser Gase im Regen- und Flußwasser nähert, bis zu 32,66 pC. Sauerstoff auf 67,34 pC. Stickstoff und daß nur in einer geringeren Anzahl von Fällen der Sauerstoffgehalt der vom Wasser gelösten Luft unter jenen der atmosphärischen Luft heruntergeht. Zufällig hatte ich im Jahre 1864 die Zusammensetzung der Brunnengase des in meinem Hause befindlichen Brunnens bestimmt, welcher sich bei einer Tiefe von cc. 33 Fuß auf dem südlichen Abhange des Plateaus befindet, auf welchem die Belagerungsübung stattfand und welcher sein Wasser aus denselben Kies- und Sandschichten erhält. Die vom Wasser gelösten Gase bestanden in 100 Theilen aus

46,56 pC. Kohlensäure
8,61 „ Sauerstoff
26,52 „ Stickstoff.

Das Verhältniß des Sauerstoffs zum Stickstoff war daher in 100 Theilen wie 24,29 Sauerstoff zu 75,51 Stickstoff.

---

1) l. c. S. 22.

Es konnte daher, wie die vorstehende Erörterung zeigt, weder in den trocknen noch in den vom Wasser durchtränkten Schichten des fast ganz aus Sand, Bodenklasse I und II der Ingenieure, bestehenden Terrains der Belagerungsübung an einer genügend sauerstoffreichen Luft fehlen. Diese wird mehr oder weniger überall in den mäßigen Tiefen der Minenfelder zu finden sein, wenn nicht etwa Kohlensäure-Exhalationen vulkanischen Ursprungs vorhanden sind oder Ablagerungen organischer Reste, Torf- und Braunkohlenlager, den Sauerstoff der zu ihnen dringenden Luft im Verwesungsprocesse für sich in Anspruch nehmen. Aber auch ein schweres und drückendes Wetter in einer Braunkohlengrube enthielt nach einer Analyse von Bunsen[1]) noch immer 13,8 pC. Sauerstoff.

Gegen diese Erörterung dürfte vielleicht die Erfahrung eingewendet werden, daß in langen söhligen und namentlich in steigenden Gallerien Lampen nach einiger Zeit erlöschen und das Athmen beschwerlich und endlich unmöglich wird. Nach Dziobek[2]) „brennen Kerzen in Schachten über 25 Fuß tief gewöhnlich schon beschwerlich, in großen söhligen Gallerien löschen sie 150′ vom Eingang entfernt aus, in mittleren 125′, in Zweigen 90′ weit und in steigenden Gängen noch eher. Geht eine Gallerie von einem Schacht aus, so kann man 60—72′ weit nur mit Mühe athmen und in den Zweigen kaum einige Minuten lang“. Mit diesen Angaben, denen das Moment der Zeit fehlt und welche wohl nicht allgemeine Geltung beanspruchen dürften, steht auch ein Citat von Eulenberg[3]) nicht ganz im Einklang, nach welchem in einer Grube, welche 200 Lachter (cc. 1330′) unter Tag und 80 Lachter (cc. 530′) von jeder Luftcirculation entfernt war, sich doch nur 1,86 pC. weniger Sauerstoff als in normaler Luft, dagegen 1,8 pC. Kohlensäure befanden. Wie dem nun auch sei, darüber ist nicht zu streiten, daß durch den Verbrennungsproceß der Luft der Minengänge Sauerstoff entzogen wird. Ein Theil dieses Sauerstoffs wird durch sein gleiches Volumen Kohlensäure ersetzt, ein anderer bildet mit dem Wasserstoff Wasser, wobei durch Verdichtung des entstandenen Wasserdampfs eine Verminderung des Luftvolumens eintritt. Diese wird jedoch wieder dadurch ausgeglichen, daß der Athmungsproceß des Arbeiters stets nebenher läuft und nach der neuesten im hohen Grade

1) Gasometrische Methoden S. 89.
2) Dziobek, Taschenbuch für den Preußischen Ingenieur 1844. S. 468.
3) l. c. S. 80.

interessanten Entdeckung von Pettenkofer und Voit [1]) von einem wachenden und arbeitenden Menschen mehr als das doppelte Volumen Kohlensäure gegen den verbrauchten Sauerstoff ausgeathmet wird. Durch diese beiden Prozesse wird daher in dem begrenzten Raume des Minenganges eine sonderliche Volumenänderung der Luft nicht herbeigeführt und daher auch ein rasches seitliches Zuströmen von frischer atmosphärischer Luft nicht stattfinden können. Die Luft der meist mit einer Bretterverkleidung versehenen Minengallerien und jene des benachbarten Erdreichs kann sich nur durch Diffusion ins Gleichgewicht setzen, und diese vollzieht sich viel zu langsam, um in den engen Gängen dem raschen Verbrauch des Sauerstoffs durch die Lampen und das Athmen der Arbeiter genügen zu können. Dieser Sauerstoff muß vielmehr bei langen Gallerien den Arbeitern durch kräftige Ventilatoren zugeführt werden. Indem dieser von außen eindringende Luftstrom das längere Arbeiten an den Têten der Mine und das Laden derselben überhaupt nur möglich macht, liefert er zugleich einen Theil des Sauerstoffs für die spätere Verbrennung der Pulvergase bei der Explosion der Mine. Die ganze in dem umgebenden Erdreich einer Minengallerie und der Pulverkammer vorhandene Luft bleibt unter solchen Umständen durch den Athmungsprozeß der Arbeiter ziemlich unberührt und für die Verbrennung der Pulvergase des Explosionsherdes verwendbar. Bei Minen mit hohlen Kammern wird sich je nach der Größe derselben die Menge des Sauerstoffs im Explosionsherde natürlich ansehnlich vermehren.

In einem dichten festen Thonboden mit nur geringem Luftgehalt werden sich, wie wir später sehen werden, diese Verhältnisse etwas anders, aber im Verlauf des Minenkriegs kaum ungünstiger für die vollständige Verbrennung der Pulvergase gestalten. Ich habe die relative Raumerfüllung des dichten Thons, welcher in dem Terrain des Minengefechtsfeldes ganz fehlte, durch besondere Versuche nicht festgestellt. Die von mir mitgetheilten Bestimmungen beziehen sich nur auf die Raumerfüllung der Luftziegel, wie sie in der Verdämmung zur Verwendung kamen.

Die vorstehende Erörterung berechtigt daher zu dem Schluß, daß der Explosionsherd einer Mine genügenden Sauerstoff zur vollständigen

1) Liebig's Annalen der Chemie. Ueber Kohlensäure-Ausscheidung und Sauerstoff-Aufnahme während des Wachens und Schlafens beim Menschen von Dr. Max v. Pettenkofer und Dr. Carl Voit. B. 141 S. 295.

Verbrennung der Pulvergase enthalten werde, und es wird nun der Nachweis zu führen sein, ob auch die übrigen Bedingungen zur Vollziehung dieses Prozesses erfüllt sind.

Bei genügendem Sauerstoffzutritt wird im Allgemeinen ein Körper sich entzünden, wenn er auf eine bestimmte Temperatur, seine Entzündungs-Temperatur, erhitzt wird und er wird fortbrennen, wenn die bei seiner Verbrennung entwickelte Wärme ausreicht, ihn auf dieser Temperatur zu erhalten oder er nicht durch fremde Einflüsse unter diese Temperatur abgekühlt wird. Die Flammen-Temperatur [1]) eines brennenden Gasgemenges wird davon abhängig sein, ob dasselbe bei constantem Druck oder ob es bei variablem Druck und constantem Volumen verbrennt, das heißt ob die Verbrennung in einem offnem Gefäße bei gewöhnlichen Atmosphärendruck oder in einem geschloßnem Raume stattfindet. In letzterem Falle wird die Verbrennungstemperatur eine ungleich höhere sein. Nach Bunsen [2]) ist die Flammentemperatur des frei in der Luft abbrennenden Pulvers 2993° C., jene des Pulvers, dessen Gase bei der Verbrennung in einem geschloßnem Raume entstehen und sich nicht frei ausdehnen können, 3340° C.

Wenn die Pulvergase in einem scharf geladenen Geschütz nach dem Abfeuern hinter der Kugel den Lauf verlassen, so haben sie zwar durch das die Wärme gut leitende Metallrohr, durch ihre Expansion und durch das Forttreiben der Kugel, wobei Wärme in mechanische Arbeitskraft sich umsetzt, einen Theil dieser hohen Temperatur bereits verloren, diese ist aber immer noch hoch genug, um bei dem Eintritt der Gase in die atmosphärische Luft einen neuen Verbrennungsproceß einzuleiten, welcher uns in der aus dem Geschütz hervorbrechenden Feuergarbe und dem Pulverdampf sichtbar entgegentritt. Die Pulvergase finden bei ihrem gewaltsamen Eindringen in die Atmosphäre Sauerstoff genug zu ihrer vollständigen Verbrennung vor, und die durch die Verbrennung ihres Kohlenoxyds, Wasserstoffs und Grubengases bewirkte Temperatur-Erhöhung wird vollständig der abkühlenden Wirkung der Atmosphäre das Gleichgewicht halten. Etwa vorhandenes Schwefelkalium und Schwefelwasserstoff werden sich dabei vollständig oxydiren. Darin liegt der Grund, warum im dichtesten, in freier Luft befindlichen Pulverdampfe mit Bleiessig getränktes Papier unverändert bleibt, und

1) Gasometrische Methoden S. 247 ff.
2) Poggendorff, Annalen B. 102 S. 348.

nicht darin, wie Josephson und Scheidemann meinen, weil das im Pulverdampf vorhandene Schwefelkalium noch nicht Zeit gehabt habe, unter dem Einfluß von Wasser und Kohlensäure Schwefelwasserstoff zu entwickeln.

Die Entzündung und Zersetzung des Schießpulvers durch seine ganze Masse erfolgt ferner, wie bereits früher erwähnt, im Geschütz nicht augenblicklich, sondern in rasch auf einander folgenden kleinen Zeittheilchen, so zwar, daß die Kugel sich schon in Bewegung gesetzt haben wird, ehe noch der letzte Antheil des Pulvers sich entzündet und vergast hat. Hierin liegt das die Geschütze conservirende Moment des Schießpulvers und die Erklärung, warum das Pulver bis jetzt jede Concurrenz mit heftiger explodirenden chemischen Verbindungen und Gemischen glücklich bestanden hat. Chlorstickstoff, Knallquecksilber, Nitroglycerin ꝛc. zersetzen sich plötzlich durch ihre ganze Masse und ihre explosive Kraft richtet sich nicht blos gegen die Kugel, sondern gegen das ganze Geschützrohr, welches sie zersprengt, ehe die Kugel Zeit gehabt hat, sich in Bewegung zu setzen. Daher hat die Artillerie bis jetzt auch alle Fabrikate, welche chlorsaures Kali in ihrer Mischung enthalten, wegen ihrer, um den technischen Ausdruck zu gebrauchen, brisanten Wirkung zurückgewiesen.

Bei der Explosion einer Mine findet ganz derselbe Vorgang wie im Geschützrohr statt. Es entwickeln sich hier die Pulvergase im geschloßnen Raume, bei derselben hohen Temperatur, unter dem allseitigen und gewaltigen Druck der Erdmasse, welche sie in Bewegung setzen sollen. Hier wird sich das Pulver durch seine weit größere Masse noch weniger augenblicklich entzünden, als im Geschützrohr oder gar im Zündnadelgewehr, wo die sehr heiße Flamme des Zündspiegels sofort die ganze Ladung durchdringt. Es werden daher Pulvergase bereits ihre Wirkung auf die Umgebung der Pulverkammer ausüben und die Erdschichten in Bewegung zu setzen suchen, zu einer Zeit, wo die Zersetzung der ganzen Pulvermasse noch nicht vollendet ist. Die heiße Pulverflamme wird in alle Hohlräume hineinschießen, den hier vorhandenen Sauerstoff in ihren Verbrennungsprozeß hineinziehen und da bei den beständig wechselnden Angriffspunkten die erste Bewegung der Pulvergase im Explosionsherde nothwendig eine rotatorische sein muß, so wird sich bald die der Pulverkammer zunächst liegende Ver-

1) l. c. S. 8.

dämmung und das benachbarte Erdreich mit seinem Luftgehalt mitten in der Bewegung der Pulvergase befinden, ehe diese in der Richtung der kürzesten Widerstandslinie in der Quetschmine eine weiter reichende Wirkung ausgeübt oder durch Bildung eines Trichters einen Ausweg nach außen gefunden haben werden. Bei dem großen zu überwindenden Widerstande wird die hohe Verbrennungstemperatur des Pulvers, welche durch die Betheiligung des in und unmittelbar um die Pulverkammer befindlichen Sauerstoffs noch einen Zuwachs erhält, wohl ausreichen, um auch den Luftgehalt des in die erste Bewegung der Pulvergase hineingezogenen Erdreichs an der Verbrennung der Gase Antheil nehmen zu lassen. Das Pulver explodirt in der Mine zwischen lauter schlechten Wärmeleitern, welche in den kurzen Momenten der Explosion durch ihren abkühlenden Einfluß die Verbrennungstemperatur kaum so weit erniedrigen werden, um das Fortbrennen der Gase zu hindern.

In gleicher Weise gestaltet sich nach der auf Seite 86 befindlichen Berechnung das Verhältniß der brennbaren Gase zu den nicht brennbaren für die Erhaltung der Verbrennungstemperatur günstig. 15 Kgr. des zur Sprengung der Versuchsmine verwandten Pulvers werden bei Ausschluß der Luft verbrannt nach Analogie des österreichischen Geschützpulvers 610,9 Liter brennbare Gase, 1325 Liter Kohlensäure und 1167 Liter Stickstoff geben. Die zur vollständigen Verbrennung nothwendige Sauerstoffmenge beträgt 458 Liter und diese entspricht cc. 2290 Liter atmosphärischer Luft, welche in einer, die Pulverkammer umgebenden Halbkugel von cc. 1,5$^{m}$ Radius vorhanden sind, während wir oben für den Explosionsherd einen Radius von 2 Meter angenommen hatten. In einem gleichmäßigen Gemisch würde das explosive Gasgemenge zur vorhandenen Kohlensäure und zum Stickstoff sich wie 25 zu 100 verhalten, also vollständig die Grenzen inne halten, innerhalb welcher seine Verbrennlichkeit gesichert ist.

In diesem Falle sind nun alle Bedingungen für die vollständige Verbrennung der Pulvergase vorhanden. Es ist aber leicht einzusehen, daß in den kurzen Momenten der Explosion die Mischung der Gase durch ihre Masse nicht so gleichmäßig erfolgen kann, um die ganze Menge der Pulvergase in diese Verbrennung hineinzuziehen. Ein Theil wird derselben entgehen, und diesen finden wir dann in der Verdämmung theils absorbirt theils in ihren Hohlräumen verbreitet. Es liegt hier genau dasselbe Verhalten vor, wie bei der Analyse brennbarer Gase im Eudiometer, wo wir nach dem Zulassen von atmosphä-

rischer Luft oder Sauerstoff das Gasgemenge durch Schütteln erst sorgfältig mischen müssen, um beim Durchschlagen des elektrischen Funkens der vollständigen Verbrennung sicher zu sein.

Wenn nun einerseits durch die Mitwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs die Verbrennungstemperatur der Pulvergase im Centrum des Explosionsherdes sich steigert, so wird doch die Temperatur seiner unmittelbaren Umgebung, welche aus schlechten Wärmeleitern besteht, nur mäßig wachsen, weil der überwiegend größte Theil der erzeugten Wärme bei Ueberwindung des Widerstands sich sofort in mechanische Arbeitskraft umsetzt und in der Expansion der Gase verbraucht wird.

Damit stimmt auch die von sachverständiger Seite erhaltene Mittheilung überein, daß die Temperatur des Explosionsherdes wenig oder gar keinen Einfluß auf das Holzwerk der gesprengten Gallerien ausübt, daß verkohlte oder angesengte Hölzer nicht beobachtet werden und daß selbst die Bretter des Pulverkastens nicht selten wiederholte Benutzung gestatten.

Unter dem gewaltigen Gasdruck der Explosion, welcher von Allen empfunden wird, welche sich im Minensystem in der Nähe explodirender Quetschminen befinden, werden die Pulvergase die Luft vor sich hertreiben, sie verdrängen und zunächst ihren Platz einnehmen, d. h. sie werden theils die Hohlräume der Verdämmung und des Erdreichs erfüllen, theils von demselben absorbirt werden, wobei der Wassergehalt der letzteren mit in Rechnung zu ziehen ist. Im ersten Moment werden alle Gase ihrem entsprechenden Absorptions-Coefficienten gemäß von der Verdämmung aufgenommen werden, bald aber wird die nach der Abkühlung des Explosionsherdes von allen Seiten in denselben zurückströmende Luft einzelne von den absorbirten Gasen mehr oder weniger vollständig verdrängen und etwa vorhandenen Schwefelwasserstoff durch Oxydation gradezu zerstören.

Der mehr oder weniger vollständigen Verbrennung der Pulvergase folgt also ein Absorptionsproceß, dessen Wesen und Resultate durch die Absorptionsgesetze bedingt werden. Ein näheres Eingehen auf diese Gesetze erscheint hier geboten, um die Abhängigkeit und Uebereinstimmung der von mir gewonnenen Resultate mit ihren Forderungen nachzuweisen[1]).

---

1) Es sind dabei benutzt worden Bunsen's Gasometrische Methoden, das Lehrbuch der physikalischen und theoretischen Chemie von Buff, Kopp und

Die festen und flüssigen Körper üben auf die Gase, von denen sie umgeben sind, eine Anziehung aus, welche sich in der Verdichtung eines größeren oder kleineren Gasvolumens auf der Oberfläche der ersteren oder zwischen den Molecülen der letzteren ausspricht und welche ganz bestimmten Gesetzen folgt. Die starren Körper wirken verschieden auf die verschiedenen Gase, aber auch derselbe Körper verdichtet um so mehr Gas, je mehr Oberfläche er demselben bietet, je poröser er ist. In derselben Weise verhalten sich die flüssigen Körper verschieden gegen verschiedene Gase.

Wir stellen die Volumina zusammen, in welchen die uns hier interessirenden Gase von einigen festen und flüssigen Körpern absorbirt werden.

| Ein Volumen absorbirt | Kohle b. 13° C. u. 0,724 Druck. | | Meerschaum b. 15° u. 0,730ᵐ Druck. | | Wasser b. 15° C. | | Alkohol b. 15° C. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ammoniak | 90 | Volumina | 15 | Volumina | 727,2 | Vol. | — | |
| Schwefelwasserstoff | 55 | „ | 11,7 | „ | 3,2326 | „ | 9,539 | Vol. |
| Stickoxydul | 40 | „ | 3,75 | „ | 0,7778 | „ | 3,2678 | „ |
| Kohlensäure | 35 | „ | 5,26 | „ | 1,002 | „ | 3,1993 | „ |
| Kohlenoxyd | 9,42 | „ | 1,17 | „ | 0,0243 | „ | 0,2044 | „ |
| Sauerstoff | 9,25 | „ | 1,49 | „ | 0,0298 | „ | 0,2839 | „ |
| Stickstoff | 7,5 | „ | 1,60 | „ | 0,0147 | „ | 0,1214 | „ |
| Wasserstoff | 1,75 | „ | 0,44 | „ | 0,0193 | „ | 0,0672 | „ |
| Grubengas | — | „ | — | „ | 0,039 | „ | 0,4828 | „ |

Die auf die festen Körper bezüglichen Daten sind durch Saussure festgestellt worden, die auf Flüssigkeiten sich beziehenden Zahlen gehören den Untersuchungen Bunsen's an. Der erstere wies nach, daß nur frisch ausgeglühte und bei Abschluß der Luft erkaltete Körper zu Absorptions-Versuchen dienen können. Er brachte dieselben unter Quecksilber in eine Glocke mit einem gemeßnen Volumen des zu untersu-

Zamminer 1863 und das Handwörterbuch der Chemie von Liebig. -- Die ausführliche Besprechung der Absorptions-Gesetze erschien hier um deswillen nothwendig, weil Scheidemann in seiner Schrift (l. c. S. 53) behauptet, daß alle von mir bei der Untersuchung der Verdämmung erhaltenen Resultate „durchaus den Gesetzen der Absorption von Gasen durch starre Körper oder durch Flüssigkeiten widersprächen.“

chenden Gases und ließ beide so lange in gegenseitiger Berührung, als noch eine Verminderung des Gasvolumens stattfand. Bunsen schüttelte in einem von ihm construirten Apparate, dem Absorptiometer, das zu untersuchende Gas so lange mit völlig luftfreiem Wasser bei wechselnden Temperaturen, als noch Absorption stattfand.

Die Absorption ist abhängig von der Natur des Gases, der Natur des absorbirenden Körpers, der Temperatur und dem Druck, unter welchem die Absorption geschieht. Mit steigender Temperatur nimmt die Absorption ab, so zwar, daß man durch Glühhitze einen festen Körper fast vollständig und durch anhaltendes Sieden eine Flüssigkeit ganz von den absorbirten Gasen befreien kann, obwohl in dem letzteren Falle noch ein anderes Moment mitwirkt. Die bei verschiedenen Temperaturen absorbirte Gasmenge muß durch besondere Versuche bestimmt worden, dagegen ist die Relation zwischen der absorbirten Gasmenge und dem Druck wenigstens bei Flüssigkeiten innerhalb gewisser Grenzen eine unveränderliche Größe. Die von einer Flüssigkeit absorbirte Gasmenge ein und desselben Gases ändert sich dem Druck proportional, und da nach dem Mariotteschen Gesetz das Volumen eines Gases dem auf ihm lastenden Druck umgekehrt proportional ist, so ist das absorbirte Volumen Gas bei verschiedenem Druck eine constante Größe. Bei 15° C. absorbirt das Wasser ein dem seinigen gleiches Volumen Kohlensäuregas gleichgültig unter welchem Druck Gas und Wasser stehen. Da aber unter dem doppelten Druck ein Volumen Kohlensäuregas noch einmal so viel und unter dem halben Druck nur halb so viel wiegt, als ein Volumen Kohlensäure unter dem einfachen Druck, so absorbirt das Wasser unter dem doppelten Druck die doppelte, unter dem halben Druck nur die halbe Gewichtsmenge der unter dem einfachen Druck absorbirten Quantität. Dasselbe gilt auch für das Volumen der Gase, wenn dasselbe bei constantem Druck gemessen wird.

Diese einfache Relation zwischen der absorbirten Gasmenge und dem Druck, unter welchem sich Gas und Flüssigkeit befinden, ist zuerst von Henry und Dalton gefunden worden und wird nach ihnen das Henry-Dalton'sche Gesetz genannt. Bunsen, welcher einen wichtigen Theil der gasometrischen Analyse auf dieses Gesetz gründete, nennt die auf 0° und $0^m,760$ Quecksilberdruck reducirten Gasvolumina welche von der Volumeinheit einer Flüssigkeit unter dem Quecksilberdruck $0^m,760$ absorbirt werden, Absorptionscoefficienten. Dieses Gesetz gilt

in aller Strenge nur für die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten und nur innerhalb gewisser Temperatur- und Druckgrenzen. Dagegen findet es keine Anwendung auf dieselben Beziehungen zwischen festen Körpern und Gasen, wir wissen hier nur im Allgemeinen, daß mit höherem Druck auch eine größere, mit geringerem Druck eine geringere Gewichtsmenge des Gases aufgenommen wird.

Wenn Wasser mit mehreren Gasen in einem abgeschloßnen Raum, dem Absorptiometer, in Berührung ist, so absorbirt es von jeder einzelnen Gasart so viel, als dem Druck entspricht, welchen diese Gasart in dem, nach vollendeter Absorption übrig bleibenden Gasgemische für sich ausübt. Der Druck eines Gasgemisches setzt sich aber aus dem verschiedenen Druck zusammen, welchen jedes einzelne Gas ausüben würde, wenn es in der anwesenden Gewichtsmenge für sich allein den ganzen Raum ausfüllen würde. Der Totaldruck eines Gasgemenges ist daher die Summe der Druckkräfte, des Partialdrucks, der einzelnen Bestandtheile des Gasgemenges. Wenn wir so den Partialdruck der Bestandtheile der Pulvergase des Sprengpulvers in einem Volumen berechnen, welches einen Druck von $0^{m},760$ Quecksilberhöhe das Gleichgewicht hält, so ergiebt sich nachstehende Zusammenstellung:

| Zusammensetzung der Pulvergase in 100 Theilen | | Partialdruck jedes einzelnen Gases b. $0^{m},760$ Quecksilberdruck. |
|---|---|---|
| Stickstoff | 41,42 pC. | $0^{m},3148$ |
| Kohlensäure | 53,63 „ | 0,4076 |
| Kohlenoxyd | 2,63 „ | 0,0200 |
| Wasserstoff | 1,61 „ | 0,0122 |
| Grubengas | 0,15 „ | 0,0011 |
| Stickoxydul | 0,56 „ | 0,0043 |
| | 100,00. | $0^{m},7600.$ |

Wasser absorbirt aus einem Gasgemisch nur die dem Partialdruck der einzelnen Bestandtheile entsprechenden Gasmengen und es wird diese so lange unverändert festhalten, als ihr Partialdruck in der über der absorbirenden Flüssigkeit befindlichen Gasatmosphäre sich nicht ändert. Ein solches Gleichgewicht wird sich nur in dem geschloßnen Raum einer Glasröhre, im Absorptiometer, herstellen. Mit einer Gasatmosphäre dagegen in Berührung, in welcher dieser Partialdruck beständige Aenderungen erfährt, wird sich auch die Zusammensetzung der vom Wasser absorbirten Gase ändern müssen und jene Gase, deren

Partialdruck in der umgebenden Atmosphäre sehr klein oder gleich Null wird, werden vom Wasser bald vollständig abgegeben werden. Die bekannten Absorptionscoefficienten der einzelnen Gase werden uns in jedem Augenblick den entsprechenden Zahlenausdruck für diese Verhältnisse, die Zusammensetzung des absorbirten und des über der absorbirten Flüssigkeit befindlichen Gasgemenges finden lassen.

Eine ganze Anzahl von Erscheinungen des gewöhnlichen Lebens findet hierdurch ihre einfache Erklärung. In den jetzt so gebräuchlichen, mit einem Heber und Druckventil versehenen Flaschen, in denen moussirendes Wasser unter einem Druck von 3 — 4 Atmosphären sich befindet, ist im Zustande der Ruhe auch nicht eine Gasblase im Wasser zu bemerken. Wird aber durch das Ventil eine Quantität Wasser abgefüllt, so beginnt in dem zurückgebliebenen Wasser sofort eine Gas-Entwicklung, welche auch nach geschlossenem Ventil so lange fortdauert, bis das gestörte Gleichgewicht in den Druckkräften des absorbirten und freien Gases wieder hergestellt ist. Beim Ablassen einer neuen Menge Wasser treten wieder dieselben Erscheinungen ein. Hier bedingt also der durch das Ablassen des Wassers veränderte Druck des freien Gases die entsprechende Aenderung in der absorbirten Gasmenge.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn ein Glas frisch geschöpftes Brunnenwasser, stark moussirendes künstliches Selterwasser, Champagner, Weißbier ꝛc. unbedeckt an der Luft stehen bleibt. Auch bei unveränderter Temperatur wird es in kurzer Zeit seine Eigenschaft zu schäumen verloren haben, es wird schal schmecken, mit einem Wort, es wird seine Kohlensäure bis auf eine geringe Spur verloren haben. Dieß wird leicht verständlich durch die Thatsache, daß der Partialdruck der Kohlensäure in normaler atmosphärischer Luft nur $0^m,0003$ (4 Theile in 10000 Theilen), während jener des Sauerstoffs $0^m,1588$ und jener des Stickstoffs $0^m,601$ beträgt.

Wir werden daher im Wasser absorbirte Gase durch anhaltendes Durchleiten eines anderen Gases vollständig verdrängen können, insofern wir dadurch über dem Wasser eine heterogene Gasatmosphäre schaffen, in welcher der Partialdruck des ursprünglich absorbirten Gases immer kleiner und endlich gleich Null wird. So können wir im Gegensatz zu dem vorher beschriebenen Vorgange durch ein Uebermaaß von Kohlensäure das Wasser vollständig von der absorbirten Luft befreien und dasselbe gelingt uns auch durch anhaltendes Sieden. In dem letzteren Falle ist aber nicht die höhere Temperatur allein die

wirkende Ursache, sondern das durch dieselbe erzeugte Wassergas, welches allein die vom Wasser absorbirten Gase vollständig auszutreiben vermag. Man wird hier leicht das Princip der Methode erkennen, nach welcher die Gase des Verdämmungsmaterials bestimmt worden sind Beim Auskochen der Barometer sind es die Quecksilberdämpfe, welche die am Glas haftende Luft entfernen.

Ganz analoge Verhältnisse finden nun auch bei der Absorption der Gase durch feste Körper statt, wenn auch nicht mit derselben einfachen Gesetzmäßigkeit zwischen dem Druck und der absorbirten Gasmenge, wenigstens ist uns das Gesetz noch unbekannt. Denn, wenn ein starrer Körper, welcher sich mit einem Gase durch Absorption gesättigt hat, in ein, mit einem heterogenen Gase gefüllten Raum gebracht wird, so dunstet von dem ersteren Gase so viel ab und wird von dem letzteren so viel aufgenommen, bis der oben geschilderte Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Bei wechselnden Partialdruck der einzelnen Gase der, den Körper umgebenden Atmosphäre werden wir auch eine beständige Aenderung in der Zusammensetzung der absorbirt bleibenden Gasmenge beobachten. Dabei werden nun oft die Absorptions-Erscheinungen die Grenze chemischer Thätigkeit überschreiten. Fein zertheiltes Platin giebt den aus der Luft absorbirten Sauerstoff, sein 250faches Volumen, an eine Wasserstoff-Atmosphäre unter Entzündung und Oxydation des Wasserstoffs ab. Eine mit Schwefelwasserstoff gesättigte Kohle in reines Sauerstoffgas gebracht, bewirkt unter Explosion die Verbindung beider Gase.

Die Absorption der Pulvergase nach der Explosion einer Quetschmine erfolgt nun vollständig den vorstehend geschilderten Verhältnissen entsprechend. Die Hohlräume der Verdämmung und des benachbarten Erdreichs einer Mine sind mit Luft gefüllt und ihre feste Masse enthält Gase absorbirt, welche nach einer neueren Untersuchung von Blumtritt[1]) vorzugsweise aus Stickstoff, Kohlensäure und Sauerstoff bestehen würden. Durch die hohe, wenn auch nur kurze Zeit andauernde Temperatur im Centrum des Explosionsherdes, sowie durch das plötzliche Entstehen einer durchaus heterogenen Atmosphäre in den Pulvergasen, welche sich unter hohem Druck nach allen Seiten hin ausbreiten, müssen alle Gase der Verdämmung, so weit sie nicht an der Verbrennung der Pulvergase Antheil nehmen, vollständig verdrängt

1) Zeitschrift für Chemie. 1867. III. Band 2. Heft S. 53.

werden. Ist dieß geschehen, dann verhält sich die Verdämmung wie eine ausgeglühte Kohle oder wie durch anhaltendes Kochen von Luft befreites Wasser gegen die Pulvergase, welche alle ihre Theile umspülen und somit für ihre Absorption die günstigsten Bedingungen vorfinden. Diese vollzieht sich nun in allen Schichten des Explosionsherdes nach Maaßgabe des Partialdrucks der einzelnen Bestandtheile des Gasgemenges. Wenn sich die Verdämmung bei dieser Absorption wie das Wasser verhielte, so würden sich aus den auf S. 96 gegebenen Zahlen sehr leicht die absorbirten Mengen der einzelnen Gase berechnen lassen, aber auch ohne diese Voraussetzung geht aus diesen Zahlen zweifellos hervor, daß die Verdämmung vorzugsweise nur Kohlensäure und Stickstoff absorbiren kann, wie dieß die Analysen 16 bis 21 zeigen.

Dieser Erörterung gegenüber ist der etwaige Einwurf, daß die von mir durch die Analyse in der Verdämmung gefundenen Gase schon vor der Explosion dort vorhanden gewesen wären, nicht aufrecht zu erhalten.

Mit der fortschreitenden Absorption der Pulvergase, der Ausgleichung des Drucks und der Abkühlung im Centrum des Explosionsherdes wird ein Rückströmen der eindringenden atmosphärischen Luft nach demselben eintreten. Die in den Hohlräumen vorhandenen Pulvergase werden sich mit Luft mischen, diffundiren, und daher wird von nun an eine beständige Aenderung in dem Partialdruck der nicht absorbirten Gase eintreten, welche ihrerseits natürlich sofort ihre Rückwirkung auf die Zusammensetzung der absorbirten Gase äußern muß. Das Tableau der Analysen Nr. 1—6 und die Zusammenstellung ihrer Resultate nach Elimination der atmosphärischen Luft auf S. 70 giebt ein Bild der geschilderten Vorgänge in Zahlen. Die Zusammenstellung zeigt recht deutlich die charakteristische Veränderung in der Gasatmosphäre der Hohlräume und in den absorbirten Gasen in der Zeit von 6 Tagen. Ihr Resultat spricht sich in dem Vergleich der beiden Analysen Nr. 6 und Nr. 16 aus, welche die Zusammensetzung der gleichzeitig von der Verdämmung absorbirten und der sie umspülenden Gase darstellen, und nicht minder unverkennbar ist der Einfluß der zurückströmenden und in ihrer Menge fortdauernd wachsenden atmosphärischen Luft, welche Antheile aller Gase aus der Verdämmung verdrängt. Die Gase werden in vollständiger Uebereinstimmung mit dem Absorptionsgesetz abgegeben. Die Menge der Kohlensäure wächst

fortdauernd in den freien Gasen der Hohlräume und hat sich nach sechs Tagen verdreifacht, während das Kohlenoxyd und die übrigen brennbaren Gase bereits nach acht Stunden ihr Maximum in den freien Gasen erreicht haben und von da ab sich immer mehr vermindern und mit der wachsenden Menge atmosphärischer Luft endlich ganz aus den Hohlräumen verschwinden. Die Gase treten daher in der Versuchsmine nach einander in den Mengen auf, wie sie den Druck- Absorptions- und Löslichkeits-Verhältnissen entsprechen, und es ist schließlich nur natürlich, wenn wir in den Gasen der Verdämmung neben Stickstoff überwiegend nur Kohlensäure antreffen.

Die Vorgänge bei der Explosion einer ersten oder isolirten Quetschmine lassen sich daher in wenigen Worten dahin zusammenfassen, daß die Verbrennungsprodukte des Pulvers durch den im Explosionsherde der Mine vorhandenen atmosphärischen Sauerstoff dahin verändert werden, daß ihr Gehalt an brennbaren Gasen, an Kohlenoxyd, Wasserstoff und Grubengas, vermindert, die Kohlensäure vermehrt und daß diese zugleich mit Stickstoff zum großen Theil von der Verdämmung und von dem umgebenden Erdreich absorbirt wird, während in den Hohlräumen derselben noch brennbare Gase zurückbleiben, welche sich nach der Gallerie hin ausbreiten und sich hier mit atmosphärischer Luft mischen. Weder die hohe Verbrennungs-Temperatur des Pulvers, noch der Luftgehalt des Explosionsherdes begünstigen in diesem Falle die Entstehung des Schwefelwasserstoffs und der Schwefelalkalien.

Fassen wir nun den Moment ins Auge, in welchem eine zweite und dritte Quetschmine oder ein Trichter in der Nähe der ersten Quetschmine gesprengt wird, ziehen wir überhaupt den gesammten Verlauf eines Minenkriegs in den Kreis unserer Betrachtung, so werden wir dieselben Vorgänge sich wiederholen sehen nur mit der Maaßgabe, daß nun auch die brennbaren Gase, welche noch von der vorhergehenden Explosion im Erdreich und zwar mit Luft gemengt vorhanden sind, in die Verbrennung der Pulvergase der späteren Explosionen hineingezogen und durch die dadurch bewirkte Temperatur-Erhöhung auch ihrerseits wieder dazu beitragen werden, um den Bereich der Entzündungs-Temperatur der brennbaren Gase in der Umgebung der gesprengten Mine zu erweitern.

Der Plan des Minenkriegs und die auf Seite 170 gegebene chronologische Folge der Explosionen zeigen, wie die Wirkungssphären der zahlreichen Quetschminen und Trichter in einander greifen. Auf dem beschränkten Raume des Minengefechtfeldes von cc. 350 Quadrat-Ruthen wurden nicht weniger als 24 Quetschminen von 40 bis 300 Pfd. Ladung und sieben Trichter mit 21,000 Pfd. Pulver gesprengt, im Ganzen also cc. 24,500 Pfd. Pulver in dem kurzen Zeitraum von 10 Tagen vergast. Im Fall eines ernstlichen Angriffs wird die Anzahl der Explosionen und die Menge des dazu verwandten Pulvers sich noch bedeutend steigern, und da sich derselbe auch bei einer förmlichen Belagerung stets gegen eine bestimmte und begrenzte Angriffsfront richtet, so wird jeder Fuß des unterirdischen Terrains dem herandrängenden Feinde durch Contre-Minen streitig gemacht werden. Gegen jeden seiner Versuche, durch Explosion einer überladenen Mine einen Trichter zu gewinnen, wird an den Têten der Vertheidigung mehr als eine Quetschmine spielen und wird von den gesprengten Gallerien aus stets aufs Neue vorgegangen werden. Nach Dziobeck[1]) werden als Maximum eines Minenangriffs acht überladene Oefen zu 50 Ctr. Pulver = 400 Ctr. Pulver gerechnet und angenommen, daß im Durchschnitt gegen jeden 10 Contreminen mit zusammen cc. 290 Ctr. Pulver spielen werden, so daß in diesem Falle cc. 69,000 Pfd. Pulver auch hier auf beschränktem Raume zur Verwendung kommen würden. Durch so oft wiederholte und intensive Explosionen werden nicht blos die feindlichen Gallerien eingeworfen — das ist Zweck des Minenkriegs — sondern es wird durch diese Erschütterungswellen nach allen Richtungen hin der Boden aufgelockert, es werden Verbindungen zwischen den Gallerien geschaffen und damit die Hohlräume im Erdboden nothwendig vergrößert.

Nach dem Plane des Minenkriegs und der auf Seite 170 befindlichen chronologischen Folge der Explosionen wurden die Quetschminen Nr. 1, 2, 3 und 4 am 16. und 17. August vor den beiden Trichtern II und I gesprengt. Alle vier Minen zerstörten die feindlichen Têten, aber nur die Wirkungssphären von 1, 3 und 4 greifen in einander, während Nr. 2 isolirt blieb. In der Nacht zum 18. August spielte der Trichter Nr. II und schon an demselben Tage wurde gegen die von diesem Trichter ausgehenden feindlichen Arbeiten mit den Quetschminen Nr. 5 und 6 vorgegangen. Am Tage darauf wurde Trichter Nr. III

1) l. c. S. 479 und 487.

gesprengt. Wenn wir nun auf der westlichen Hälfte des Minengefechtsfeldes den Angriff und die Vertheidigung weiter verfolgen, so können wir über das Ineinandergreifen der Explosionsherde nicht im Zweifel sein. Aehnliche Verhältnisse finden sich auch auf der östlichen Hälfte des Minengefechtfeldes.

Wir werden es daher begreiflich finden, daß bei der Auflockerung des Bodens im weiteren Verlauf des Minenkriegs die Radien der Kreise wachsen müssen, in denen die Luft an der Verbrennung der Pulvergase Antheil nimmt. Dieser Antheil erhält aber dadurch eine größere Bedeutung, daß die von den vorhergehenden Explosionen noch vorhandenen brennbaren Gase der Luft beigemischt sind, daß dadurch die Verbrennungs-Temperatur der Pulvergase erhöht und ihre Entzündungs-Temperatur auf weitere Kreise hin gesichert wird. Die Wirkung der Quetschminen ist nothwendig gegen die feindlichen Gallerien, nach der kürzesten Widerstandslinie hin gerichtet, der Feuerstrahl des Pulvers wird daher grade dort in die unterirdische Atmosphäre eindringen, wo diese brennbaren Gase vorzugsweise vorhanden sein müssen. Unter solchen Umständen muß ihre Verbrennung und die vollständige Oxydation der Pulvergase überhaupt immer vollständiger erfolgen und damit kann das Kohlenoxyd endlich ganz aus dem Bereich des Minenterrains verschwinden. Dieser letztere Fall wird im Verlauf des Minenkriegs um so rascher eintreten, wenn die Pulvergase, wie in den Károlyi'schen Analysen 20 pC. brennbare Gase enthalten oder die Verbrennungsprodukte gar mit 40 pC. brennbaren Bestandtheilen auftreten, wie in den mit Schießwolle gesprengten Minen von Graudenz. Im ersteren Falle würde weniger als das gleiche Volumen atmosphärischer Luft zur Bildung eines explosiven entzündlichen Gasgemisches und im letzteren Falle ungefähr das anderthalbfache Volumen Luft ausreichen. Alle Bedingungen für die Entzündlichkeit eines solchen Gasgemisches sind vorhanden und gestalten sich dadurch immer günstiger, daß während der Mischung der unverbrannt zurückgebliebenen Pulvergase mit der nach dem Explosionsherd dringenden Luft bereits der größte Theil der vorhandenen Kohlensäure und auch ein Theil des Stickstoffs, wie aus den Analysen 16 und 18 meines Tableau hervorgeht, von der Verdämmung absorbirt worden ist. Damit wird ein großer Theil grade jener Bestandtheile entfernt, welche die Entzündlichkeit des Gasgemenges herabstimmen. Vorläufige Versuche, welche ich in größerem Maaßstabe bei einer neuen Versuchsmine anstellen

wollte, haben ergeben, daß grober und feiner Sand die Entzündung eines explosiven Gasgemenges nicht hindert. Ein mit Sand gefülltes Glasgefäß, auf dessen Boden eine explosive Mischung von Leuchtgas und Sauerstoff mittelst eines Maugham'schen Ansatzrohrs, wie es zur Demonstration des Knallgasgebläses dient, geleitet wurde, explodirte in wiederholten Versuchen, sobald man der Oeffnung des Gefäßes ein brennendes Licht näherte. Bei Füllung mit sehr grobem Sand wurde das Glasgefäß einmal durch die Explosion zertrümmert.

Der Unterschied in der Beschaffenheit des Terrains wird diese Verhältnisse in ihrem Endresultat nicht beeinflussen. Denn, wenn auch ein dichter Thonboden, wie bei Graudenz, wenig Luft enthält, so wird doch schon die erste Quetschmine den Boden zerklüften und große Zwischenräume schaffen, welche durch die Gallerie mit der äußeren Luft sich in Verbindung setzen werden. Es wird diese Zerklüftung und damit die leichtere Communication mit der von außen zuströmenden Luft im Verlauf des Minenkriegs immer mehr zunehmen, während in dem Sandboden des hiesigen Terrains der lockere, feine Sand nach jeder Explosion die entstandenen großen Hohlräume sofort wieder vollständig ausfüllte. Da nach Analyse 18 und nach Angabe von Blumtritt[1]) Lehm Stickstoff und Kohlensäure reichlich absorbirt, so wird ein Thonboden für die spätere vollständige Verbrennung der zuerst erzeugten Gase in einem mehrere Tage fortgesetzten Minenkriege, namentlich bei Sprengungen mit Schießwolle, günstigere Chancen bieten, als der lockere Sandboden des hiesigen Terrains. Die Mittheilung von Scheidemann[2]), „daß während des Minenkriegs in Graudenz eines Tages in einer Gallerie des Vertheidigers, welcher mit Schießwolle gesprengt hatte, dem an der Tête mit dem Aufräumen der Mine beschäftigten Mineur plötzlich ein bläulicher Flammenstrahl entgegenfuhr und daß dieselbe Erscheinung zuweilen auch in Gallerien mit Schießpulverladung beobachtet worden sei", würde nur für die Richtigkeit meiner obigen Voraussetzungen sprechen.

Bei der Sprengung eines Trichters, welcher den Pulvergasen eine directe Verbindung mit der Atmosphäre eröffnet, wird dieser secundäre Verbrennungsproceß größere Dimensionen annehmen, er wurde, wie bereits erwähnt, bei dem in einer dunklen Nacht gesprengten

---

1) l. c. S. 54.
2) l. c. S. 42.

Trichter in den Flammen sichtbar, welche unter der ungeheuren Sand- und Dampfwolke hervorbrachen. Die Zugänglichkeit der Tiefe des Trichters unmittelbar nach seiner Explosion läßt in ihm einen mächtigen Abzugskanal für alle schädlichen Gase erkennen.

Es bilden sich also im weiteren Verlauf eines Minenkriegs neue Verhältnisse heraus. Die zunehmende Auflockerung und Zerklüftung des Bodens, die durch die Explosionen herbeigeführte zeitweise Communication zwischen den feindlichen Gallerien und durch die Trichter mit der Atmosphäre, welche allseitiges Eindringen der atmosphärischen Luft gestatten, die Fähigkeit des Bodens, Kohlensäure und Stickstoff zu absorbiren und endlich die von den Explosionen einer ersten oder von isolirten Quetschminen übrig bleibenden brennbaren Gase, welche die Entzündlichkeit der mit Luft gemengten Pulvergase der späteren Explosionen wesentlich erhöhen: — alle diese Momente führen in ihrem Zusammenwirken immer mehr die vollständige Verbrennung der Pulvergase herbei. Damit werden Kohlenoxyd, Wasserstoff und Grubengas allmälig ganz aus dem Minenterrain verschwinden und als Verbrennungsprodukte des Pulvers endlich nur Kohlensäure, Wasser, Stickstoff und kohlensaures und schwefelsaures Kali auftreten.

Es kann unter Umständen sogar Stickstoff zu Salpetersäure oxydirt werden. Nach Bunsen[1]) kann man sehr leicht Stickstoff mit Sauerstoff direct zu Salpetersäure verbinden, wenn man beide Gase mit ihrem doppelten Volumen Knallgas verpufft. Beträgt das Knallgas das Drei- bis Fünffache, so entsteht eine solche Menge Salpetersäure, daß sie gradezu das Quecksilber im Eudiometer angreift. Man muß daher bei eudiometrischen Analysen, um diese störende Salpetersäurebildung zu vermeiden, das Verhältniß des Knallgases zur atmosphärischen Luft regeln und auf 100 Theile nicht brennbares Gas nie mehr als 26—64 Volumina brennbares Gas anwenden. Ueber diese Grenze hinaus ist Salpetersäurebildung möglich. Diese Grenze in der Gasmischung kann nun namentlich bei späteren Explosionen des Minenkriegs durch locale Strömungen leicht überschritten werden. Da nun kohlensaures Ammoniak unter den Zersetzungsprodukten des Pulvers stets

1) Gasometrische Methoden. S. 63.

beobachtet worden ist, so steht der Annahme, daß sich nach den Explosionen salpetersaures Ammoniak in dem Erdreich bilden und vorfinden werde, nichts entgegen. Salpetersaures Ammoniak zerlegt sich aber schon bei 170° C. in Stickoxydul und Wasser. Sollte das von mir in den Analysen 4, 5, 6 und 16 gefundene Stickoxydul, welches weder von Bunsen, Linck noch Károlyi in den Pulvergasen beobachtet worden ist, nicht vielleicht einem solchen secundären Zersetzungsproceß seine Entstehung verdanken? Die Versuchsmine war zwar ziemlich isolirt, ihr Explosionsherd greift aber westlich in die Wirkungsphäre der Quetschmine Nr. 25 ein und kommt hier in Berührung mit den Verbrennungsprodukten der vorhergehenden Explosion. Nach dieser Erklärung würde das Stickoxydul einem ganz analogen secundären Zersetzungsprocesse seine Entstehung verdanken, wie der durch die Analyse von Bunsen[1]) und Linck gefundene Sauerstoff der Pulvergase.

Wir dürfen diesen Abschnitt nicht schließen, ohne der Arbeitskraft des Pulvers zu gedenken. Bunsen[2]) hat in seiner classischen Untersuchung den Druck berechnet, welcher bei der Explosion des von ihm untersuchten Pulvers in dem, von demselben gravimetrisch erfüllten und für Wärme undurchdringlich gedachten Raum ausgeübt wird. Es ergiebt sich derselbe als Maximum zu 4374 Atmosphären, von denen ungefähr 1000 Atmosphären auf die durch Erhitzung bewirkte Ausdehnung des Pulverrückstands kommen. Es kann daher nach seiner Ansicht ein Pulver von dieser Zusammensetzung, welches in einem Geschützrohr hinter dem Geschosse explodirt und dabei die nachgewiesene Zersetzung erleiden würde, niemals einen Druck auf die Geschützwände ausüben, welcher eine Höhe von 4500 Atmosphären erreichen würde. „Darnach müssen die Angaben der besten artilleristischen Schriftsteller, welche diesen Druck auf 50000 ja bis 100000 Atmosphären berechnen, auf fehlerhaften Voraussetzungen beruhen." Das Maximum des mechanischen Effects, d. h. die theoretische Arbeit, welche das Pulver leistet, wenn sich seine Gase unter dem, ihrem jedesmaligen Volumen entsprechenden Druck in einem für Wärme undurchdringlich gedachten Raume ausdehnen, ist ebenfalls von Bunsen berechnet worden. Ein Kilogramm des von ihm untersuchten Jagdpulvers leistet, wenn es die durch die Analyse nachgewiesene Zersetzung erleidet, eine theoretische

1) Poggendorf Annalen B. 102 S. 338.
2) Ebendaselbst. S. 352.

Arbeit von 67410 Meterkilogramm, d. h. ein Kilogramm Pulver vermag durch seine Arbeitskraft 67410 Kilogramm ein Meter hoch zu heben.

Es bedarf wohl kaum der Bemerkung, daß diese theoretische Arbeitsgröße in der Praxis durch die mannigfaltigsten Einflüsse bedeutend erniedrigt werden wird. Bei Minensprengungen werden sich durch die Theilnahme der atmosphärischen Luft an der Verbrennung des Pulvers und durch dessen Explosion inmitten von schlechten Wärmeleitern die Verhältnisse dieser Arbeitsleistung ziemlich günstig stellen. Die Abbildung des Trichters Nr. VII auf Tafel II, welcher am 29. August 6 Uhr Nachmittags mit 33 Centner Pulverladung gesprengt worden war, stellt eine solche Arbeitsleistung vor. Der Trichterrand besaß einen Durchmesser von 66 Fuß, und wenn wir nur die kürzeste Widerstandslinie als seine Tiefe und seinen Inhalt als einen Kegel berechnen — er ist wohl als ein Kegelstumpf anzusehen — so ergiebt sich, daß die Arbeitskraft des Pulvers in wenigen Secunden cc. 231,5 Kubic-Klafter Boden hoch in die Luft geschleudert hatte. Genauere Angaben über die Größenverhältnisse dieses Trichters standen mir nicht zu Gebot.

Eine andere bereits erwähnte, instructive Minensprengung im großartigsten Maaßstabe bespricht Knapp[1]) in seinem Lehrbuch der chemischen Technologie. Die von Folkestone kommende Eisenbahn geht nach mehreren Viadukten, Tunnels und Einschnitten in den sogenannten Abbots-Felsen-Tunnel aus. Um von da an in grader Richtung die Shakspeare-Klippe bei Dover zu erreichen, mußte der Vorsprung des Round-Down-Felsens, einer mächtigen Kreidemasse, welche in diese Linie hineinragt, weggeschafft werden. Der Beschluß, diesen Vorsprung, der über 2400 C. Klafter oder ein Gewicht von 1 Million Tonnen umfaßte, mit einem Male durch Sprengen zu entfernen, wurde 1843 vom Ingenieur Cubitt mit gutem Erfolg ausgeführt. Zu dem Ende wurde in der Richtung der künftigen Eisenbahn ein Hauptgang 36$^1/_2$ Klafter Länge und auf diesen drei kürzere Seitengänge angelegt. Am Ende jedes Seitenganges führte ein senkrecht abgeteufter Schacht zu den Pulverkammern, von denen jede 13,4 Fuß in die Länge, 6,1 Fuß und 5,5 Fuß in die Breite maß. In die östliche Kammer wurden 5510 Pfund, in die mittlere 7714 Pfund und in die westliche 6612 Pfund, im Ganzen also 19836 Pfund Pulver gebracht. Die Dicke

1) l. c. 1 Band S. 325.

der Felsmasse betrug vor der mittleren Kammer 84,4, vor den beiden andern 67 Fuß. Hinter dem Rücken des Felsens befand sich die mächtige galvanische Batterie, welche die ungeheure Ladung auf einmal entzünden sollte. Nachdem die Leitung gelegt war, wurden die Zugänge zu den Kammern mit trocknem Sand verdämmt und auf diese Weise noch eine beträchtliche Menge Luft eingeschlossen. Die Absicht, den Felsen nur abzulösen, ohne seine Trümmer umherzuschleudern, wurde durch die richtige Abgleichung der Pulvermasse auf das überraschendste erreicht. Nach dem Abfeuern war weder Rauch noch ein Knall vernehmbar; kein anderes Geräusch als das des Reißens einer so beträchtlichen berstenden Kreidemasse verkündete das Gelingen. Der gesprengte Theil begann auf 500 Fuß in die Breite einzusinken und in Trümmern nach der 36 Klafter entfernten See hinabzurutschen. In 4—5 Minuten war Alles vorüber, was sonst eine sechs Monate lange Arbeit und 7000 L. St. gekostet haben würde. Knapp fügt dieser Schilderung hinzu, daß man aus den Umständen der Explosion nämlich aus dem fehlenden Rauch und Knall ersehen könne, daß die Ladung genau dem zu überwindenden Widerstande angepaßt war. Die entwickelten Gasarten hatten Kraft genug, die Felsmasse abzulösen, ohne sich augenblicklich Bahn ins Freie zu brechen und daher die festen Verbrennungsprodukte Zeit, sich abzukühlen und niederzuschlagen.

Ich habe diese Sprengung nur um deswillen ausführlicher erwähnt, um dabei an den unverkennbaren Einfluß der atmosphärischen Luft zu erinnern, welche durch ihre unbegrenzte Elasticität und ihre Theilnahme an der Verbrennung der Pulvergase diese großartige Wirkung mit herbeiführen half.

## Die Minengase und ihre Beziehung zur Minenkrankheit.

Die ätiologischen Beziehungen der Minengase zur Minenkrankheit werden sich ungezwungen aus den Resultaten der vorstehenden Untersuchung ergeben, und es wird nun Sache der Medicin sein, das von der Chemie geförderte thatsächliche Material mit den beobachteten Krankheitserscheinungen zu vergleichen und in Uebereinstimmung zu bringen.

Die chemische Untersuchung hat die Abwesenheit der giftigen Gase, Cyan, Stickoxyd und Arsenwasserstoff nachgewiesen, sie hat zwar das Vorhandensein des Schwefelwasserstoffs, aber nur in so geringen Mengen constatirt, daß seine quantitative Bestimmung unter vielen, nur in einem Falle gelang. Da zu gleicher Zeit die chemisch-physikalischen Prozesse während und nach den Minen-Explosionen wenig günstige Bedingungen für die Entstehung des Schwefelwasserstoffs und der Schwefelalkalien enthalten, zumal auch der feuchte Erdboden den vorhandenen und absorbirten Schwefelwasserstoff sehr rasch zerstören wird; so dürften so geringe Mengen dieses Gases als Krankheitsursache wohl nicht mehr in Rechnung zu ziehen sein, wenn nicht etwa die Krankheitserscheinungen selbst zwingende Gründe für eine solche Annahme an die Hand geben sollten. Die bloße Wahrnehmung des Gases durch den Geruch ist nicht maßgebend, denn dann müßte die Minenkrankheit in den chemischen Laboratorien heimisch sein, wofür keine Beobachtungen sprechen. Zudem ist es sehr zweifelhaft, ob der eigenthümliche Minengeruch nur dem Schwefelwasserstoff angehört. Die Minengase geben ihn nicht völlig an Natronlauge ab und er haftete ziemlich hartnäckig an allem aus der Mine kommenden Material. Auch bei der Verbrennung der Schießwolle bemerkte Károlyi[1]) Spuren einer schwefelhaltigen Gasart, welche wahrscheinlich Resten von Schwefelsäure, welche der Schießwolle nach dem Auswaschen noch anhafteten, ihre Entstehung verdankten. Der Minengeruch kann unangenehm sein, schädlich ist er gewiß nicht.

Die geringen Mengen von Wasserstoff, Grubengas und Stickoxydul können in ihrer Wirkung auf den Organismus ebenfalls nicht in Betracht kommen. Es bleiben daher als wirksame Factoren nur Kohlensäure, Kohlenoxyd, Stickstoff und der verminderte Sauerstoffgehalt der

1) l. c. S. 64.

Luft übrig, aber selbst das Kohlenoxyd vermögen wir nach den Ausführungen des vorigen Abschnitts nicht als einen constanten Gemengtheil der Minengase anzusehen.

Auf Grund dieser Ausführungen müssen wir im Allgemeinen unterscheiden zwischen den Minengasen einer ersten oder isolirten Quetschmine und jenen, welche im weiteren Verlauf eines Minenkriegs einer zusammenhängenden Kette von Explosionen ihre Entstehung verdanken. In den ersteren werden noch brennbare Gase und was uns am meisten interessirt, Kohlenoxyd vorhanden sein, während in den letzteren das Kohlenoxyd immer mehr verschwinden und endlich nur Kohlensäure und Stickstoff als Pulvergase auftreten werden.

Das Minen-Journal und die Statistik der Minenkranken verglichen mit dem Plan-Directeur werden uns eben so interessante als vorläufig genügende Anhaltspunkte zur Beurtheilung des Zusammenhangs dieser Verhältnisse mit dem Auftreten der Minenkrankheit geben.

Am 16. August 11½ Uhr Morgens wurde die Quetschmine Nr. 2 mit 140 Pfund Ladung in der mit Gallerie II zusammenhängenden Ecoute e auf der östlichen Hälfte des Minengefechtsfeldes gesprengt.[1]) Sie traf zwar die Tête der Gallerie Nr. 4 des Feindes, die Pulvergase scheinen jedoch durch diese keinen Ausweg gefunden zu haben, denn trotz der Wirkung eines kräftigen Cylindergebläses konnte die schlechte Luft erst gegen 4 Uhr Nachmittags einigermaßen bewältigt werden, so daß eine Besetzung der Ecouten f, g und h möglich wurde. Die Ecoute f mußte jedoch um 5 Uhr schon wieder aufgegeben werden und ebenso wenig gelang das Aufräumen der Ecoute e, da alle dort beschäftigten Mineure minenkrank wurden. Um 6 Uhr Abends mußte die Gallerie II ganz verlassen werden, sie wurde bei fortgesetzter Ventilation erst Nachts 1 Uhr wieder befahrbar. Von den 19 Minenkranken des ersten Tages kam der überwiegend größte Theil auf Gallerie II. Mit dieser Quetschmine stehen nun die Analysen 7 und 8 des Tableau in unmittelbarem Zusammenhang. Als der Ventilator nach der Explosion der Mine zu wirken begann, wurde der Aspirator mit dem Ventilatorrohr in Verbindung gesetzt. Die Zusammensetzung des gesammelten Gases wird durch Analyse 8 ausgedrückt. Beim Herausbringen der ersten Minenkranken aus Gallerie II wurde der Versuch gemacht, das Rohr des Aspirators, welcher in das Rameau C

1) Die nachstehenden Angaben sind dem Minen-Journal entlehnt.

geschafft worden war, nach Ecoute e bis vor die Verdämmung der gesprengten Mine zu bringen. Die dahin vordringenden Mineure wurden jedoch minenkrank und das Rohr blieb am Eingang der Ecoute e liegen. Analyse 7 drückt die Zusammensetzung des hier gesammelten Gases aus.

Diese Quetschmine giebt daher ein charakteristisches Bild einer ersten Quetschmine, deren völlige Isolirung aus dem Plan ersichtlich ist. Die Zusammensetzung der aus ihr geschöpften Gase fällt im Allgemeinen mit der Natur der Gase der Versuchsmine zusammen, welche ihrer Lage nach ganz in dieselbe Kategorie gehört.

Auf dem westlichen Theil des Minengefechtfeldes war an demselben Tage bereits Morgens 6½ Uhr in Ecoute a die Quetschmine Nr. 1 gesprengt worden, dieser folgte Nachts 11 Uhr in Ecoute b die Mine Nr. 3 und am folgenden Tage den 17. August Mittags 12½ Uhr in Ecoute c die Mine Nr. 4. Ecoute a wurde nach der Sprengung von Mine Nr. 1 mit dem großen Cylindergebläse kräftig ausgesogen und man konnte schon 35 Minuten nach abgegebenem Schuß wieder bis zu Verdämmung vordringen, doch war es erst nach zwei Stunden möglich, längere Zeit dort zu verweilen. Die Gallerie I blieb jedoch befahrbar, die Minen 3 und 4 konnten geladen nnd verdämmt werden und erst nach der Explosion der Mine 4 erhielt die Gallerie I schlechte Luft. Die Arbeiten, welche am 17. in den Ecouten a, b und d gegen Abend aufgenommen worden waren, mußten unterbrochen werden, weil die Arbeiter minenkrank wurden. Hierher gehören die im ärztlichen Bericht unter dem 18. August aufgeführten 6 Minenkranken. Correspondirende Analysen der aus diesen Minen resultirenden Gase sind nicht vorhanden.

Auch hier ist der Charakter einer ersten Quetschmine nicht zu verkennen, doch greifen die Explosionsherde von 1 und 3 schon in einander und vielleicht ist es neben der guten Ventilation diesem Umstande zuzuschreiben, daß Mine 4 geladen und verdämmt werden konnte und Gallerie I zugänglich blieb, während unter ganz gleichen Verhältnissen Gallerie II durch Mine Nr. 2 längere Zeit unzugänglich wurde. Die Explosion der Mine 4 führte nun für die westliche Hälfte denselben Uebelstand herbei. Ihr Explosionsherd streift nur jenen der Mine 3, während er mit keiner feindlichen Gallerie in Verbindung steht und sich in einem völlig unberührten und geschloßnen Terrain ausbreitet. Trichter Nr. II, dessen Verheerungen aus dem Plan

ersichtlich sind, zog die nach der Explosion der Minen Nr. 1, 3 und 4 zurückgebliebenen brennbaren Gase in seinen Verbrennungsproceß hinein und machte die Gallerie I sofort wieder zugänglich.

Wenn wir jetzt mit der Statistik der Minenkranken in der Hand den Minenkrieg in seinem weiteren Verlauf verfolgen, so treten am 19. und 21. August keine und am 22. August nur 2 Minenkranke auf, obwohl an jedem dieser Tage drei Minen gesprengt worden waren. Erst am 23. August begegnen wir wieder 7 Minenkranken, 5 von ihnen stammen vom Aufräumen des Rameau D auf der östlichen Seite und ebenso fallen die Erkrankungen am 24. August auf das Aufräumen der Ecoute m, also auch auf die östliche Seite des Minengefechtfeldes. Die Minenkranken vom 25. August scheinen sämmtlich aus Gallerie II zu stammen, da an diesem Tage nach Sprengung der Mine 21, einer völlig isolirten Mine, diese Gallerie von früh 10 Uhr bis Mittag 3 Uhr nicht befahren werden konnte und zwei Officiere, welche mit Respiratoren in der Gallerie II vorzudringen suchten, minenkrank wurden. Dagegen war an demselben Tage die Gallerie I nach gleichzeitiger Sprengung der beiden Minen Nr. 23 und 24, wobei der Rand des feindlichen Trichters Nr. IV eingeworfen wurde, sofort wieder zu befahren und auch der Aufhau I. 3 nach Rameau F konnte wenige Stunden nach der Explosion begonnen werden, während der Aufhau m'' im Explosionsherde von Nr. 20, obwohl er erst 3 Tage nach der Explosion, am 28. August, aufgenommen wurde, bald wieder eingestellt werden mußte, weil alle vor Ort arbeitenden Mineure krank wurden. Die Trichter Nr. VI und VII wurden erst am 29. und 30. August und Trichter Nr. V war vor Anlage der Minen 20 und 21 gesprengt worden.

Auf Seite 189 sind die Ursachen angegeben, welche im weiteren Verlauf des Minenkriegs das Auffammeln der Gase erschwerten. Aus nahe liegenden Gründen war bei dem immer lebhafter sich gestaltenden unterirdischen Kampfe nicht immer zuverlässig zu ermitteln, in welchem Zweige der Minen-Gallerie das Rohr des Ventilators mündete. Durch eine solche Unsicherheit ging z. B. die Analyse der Gase verloren, welche aus der, in mehr als einer Beziehung interessanten Mine Nr. 21 sich entwickelten. Der Ventilator war nach Gallerie II in Thätigkeit und es schien nicht zweifelhaft, daß sein Rohr bis vor Ort der gesprengten Mine Nr. 21 führe. Dieß konnte jedoch nicht der Fall sein, denn zwei völlig mit einander übereinstimmende Analysen zeigten,

daß die aufgesammelten Gase in 100 Theilen

| | 1. | 2. |
|---|---|---|
| Kohlensäure | 0,10 pC. | 0,11 pC. |
| Sauerstoff | 20,41 „ | 20,41 „ |
| Stickstoff | 79,54 „ | 79,48 „ |

und keine Spur Kohlenoxyd enthielten, also fast nur aus atmosphärischer Luft bestanden und daher in gar keine Beziehung zu den oben erwähnten schweren Erkrankungen gebracht werden konnten. Höchst wahrscheinlich war das Ventilatorrohr schon vor dieser Explosion nach Rameau G verlegt worden, in welchem die Vorbereitungen für die Sprengung der Mine Nr. 22 getroffen werden sollten. Neben dieser Ungewißheit wurden aber andererseits bei der immer größeren Annäherung des Feindes die militärischen Rücksichten der Vertheidigung überwiegend und damit die chemischen Operationen in den Gallerien immer schwieriger ausführbar, so daß ich schließlich mit Rücksicht auf die in Aussicht stehende Versuchsmine, von welcher ich vorzugsweise Aufklärung über alle hier einschlagenden Verhältnisse erwartete, ganz auf das weitere Sammeln der Gase verzichtete. Aus allen diesen Umständen erklärt es sich, warum verhältnißmäßig nur wenige, mit den Erkrankungen in unmittelbarem Zusammenhang stehende Analysen ausgeführt werden konnten.

In den mittleren und letzten Phasen des Minenkriegs zeigt es sich daher im großen Ganzen, daß die Erkrankungen fast ausschließlich auf der östlichen Hälfte des Minengefechtsfeldes eintreten, wo die Explosionskreise der Minen 9, 11, 13, 17, 20 und 21 kaum ineinander greifen, während auf der westlichen Seite die Explosionsherde ein eng verkettetes Gewebe bilden und mit Beziehung darauf das Minen-Journal fast ununterbrochen die Bemerkung enthält, daß Gallerie I kurze Zeit nach den Explosionen wieder zugänglich geworden sei.

Für die Erkrankungen am 23., 24. und 28. August ist es charakteristisch, daß sie fast ausschließlich beim Aufräumen gesprengter Têten oder beim Vorgehen im durchschossenen Terrain eintraten, während jene am 25. August in directer Beziehung zur Mine Nr. 21 stehen, einer vollkommen isolirten Mine in bis dahin unberührtem Terrain, in deren verhältnißmäßig kleinem Explosionsherde sich die Pulvergase von 150 Pfund Ladung ohne jede oberirdische Wirkung ausbreiteten. Obwohl sie erst in den letzten Tagen des Minenkriegs explodirte, so prägt sich doch in ihrer vollständigen Isolirung der Charakter einer

ersten Quetschmine aus, sie gehört daher in die Kategorie der Minen 1, 2, 3, 4 und der Versuchsmine, und die Zusammensetzung ihrer Gase wird wahrscheinlich wohl eine, jenen Minengasen analoge sein. Im vollen Gegensatz zu dieser Mine zeigt Analyse Nr. 13, welche die Zusammensetzung der an demselben Tage unmittelbar nach der gleichzeitigen Explosion der beiden Minen 23 und 24 gesammelten Gase ausdrückt, den Einfluß des Ineinandergreifens der Explosionsherde. Hier treten nur Kohlensäure und Stickstoff als Pulvergase auf.

Während nach der Explosion der Mine Nr. 21 das bloße Betreten der Gallerie II die Minenkrankheit zur unmittelbaren Folge hatte, traten die Erkrankungen am 23., 24. und 28. August nicht beim Eintritt in die Gallerie und deren Verzweigungen auf, sondern erst beim Aufräumen der Verdämmung und beim Aufhauen des von Minengasen durchzogenen Erdreichs. Die Arbeiter konnten in allen drei Fällen ohne Unbequemlichkeit bis vor Ort gelangen, hier ihre Arbeit beginnen und einige Zeit fortsetzen, ehe sie minenkrank wurden. Mit diesen Erkrankungen correspondirende Analysen der in den Hohlräumen der Verdämmung enthaltenen Gase sind leider auch nicht vorhanden, dagegen bezieht sich Analyse Nr. 21 auf die absorbirten Gase des Sandes, welcher am 28. August in dem Aufhau der Ecoute m'' zu derselben Zeit gesammelt worden war, als die Minenkrankheit dort auftrat. Die mit Luft verdünnten Pulvergase enthielten 6,01 pC. Kohlensäure, 13,56 pC. Sauerstoff und 80,43 pC. Stickstoff und keine Spur Kohlenoxyd. Die in Rede stehende Ecoute m'' führte in das völlig durchschossene Terrain der Minen Nr. 20 und 22 und wurde erst drei Tage nach den Explosionen betreten.

Unter ganz analogen Verhältnissen traten die Erkrankungen am 23. August beim Aufräumen des Rameau D auf. Die Quetschmine Nr. 13 hatte am 21. August Morgens 2¼ Uhr, der Trichter Nr. IV, welcher einen Theil des Rameau C eindrückte, den 22. August 10 Uhr Morgens und die Mine Nr. 17 den 23. August 5¾ Uhr Morgens gespielt. Zwei Stunden nach der letzteren Explosion konnte Gallerie II wieder befahren und der Aufhau der Ecoute D' von Rameau D aus begonnen und im Ganzen 20' vorgetrieben werden. Erst beim Aufräumen des Rameau D wurden 5 Pioniere minenkrank.

Ziehen wir endlich noch die Erkrankungen vom 24. August beim Aufräumen der Ecoute m des Rameau G der Gallerie II in Betracht. Trichter Nr. V hatte an demselben Tage Morgens 7¼ Uhr gespielt

und einen Theil der Ecoute m eingeworfen. Die Gallerie II war keinen Augenblick ungangbar, und es konnte daher sofort mit dem Aufräumen der Ecoute m und dem Aufhau m' begonnen werden. Dieser führte in ein Terrain, welches innerhalb der Wirkungssphäre des kurz vorher gesprengten Trichters Nr. V lag und ganz nahe von jener des Trichters IV begrenzt wurde. Hier erst traten die Erkrankungen auf.

Wenn an diesen Lokalitäten die Luft vor Ort eine analoge Zusammensetzung gehabt hätte, wie in Gallerie II nach Sprengung der Mine 21, so würde weder ein Vordringen in die Gallerie, noch ein Beginn der Arbeiten vor Ort ohne ähnliche Erkrankungen denkbar gewesen sein. An allen drei Orten aber traten die Erkrankungen erst während des Zurückarbeitens der Verdämmung ein, die Ecouten D' und m' konnten vollendet und auch der Aufhau m'' konnte ein Stück ausgearbeitet werden. Es muß also hier wohl eine langsamer wirkende Ursache vorausgesetzt werden, welche erst bei längerer Einwirkung auf den Organismus dessen Thätigkeit lähmt.

Die chemische Analyse und die bei der Explosion einer Mine sich vollziehenden chemischen und physikalischen Prozesse weisen auf eine solche verschiedenartige Zusammensetzung der Minengase hin, welche bald mehr oder weniger reich an brennbaren Gasen und damit an Kohlenoxyd, bald frei von denselben auftreten. Die Bedingungen, unter denen dieß geschehen wird, sind ausführlich erörtert worden. Mit dieser Verschiedenartigkeit der Minengase wird aber die Form der Krankheitserscheinungen in nothwendigem Zusammenhang stehen müssen. Leider fehlt es an dem betreffenden Material, um diesen Zusammenhang in den hier zuletzt besprochenen Fällen im Einzelnen nachweisen zu können, da genaue statistische Nachrichten über die Beziehungen zwischen der Natur und dem Ort des Erkrankens, Gallerie, Ecoute rc., nicht vorhanden sind. Man legte während des Minenkriegs darauf weniger Werth und unterließ die betreffenden Aufzeichnungen bei Kranken, deren Aufnahme ins Lazareth nicht einmal nothwendig wurde, weil man alle Formen der Minenkrankheit auf eine einzige Ursache zurückführte und diese nur je nach der individuellen Auffassung verschieden deutete. In dem, unmittelbar nach der Beendigung der Analysen an die General-Inspection abgesandten Bericht vertrat ich, wenigstens zum Theil, dieselbe Ansicht, indem ich die bei der Versuchsmine erhaltenen Resultate nicht blos als einen besonderen Fall auffaßte.

Auf Grund derselben konnte ich daher damals der Ansicht beipflichten, daß die Minenkrankheit wesentlich als eine Kohlendunstvergiftung, d. h. als eine Vergiftung durch Kohlensäure und Kohlenoxyd, anzusehen sei, obwohl ich zugleich bemerkte, daß der Mineur beim Eindringen in die Verdämmung vorzugsweise dem Einfluß der Kohlensäure erliege. Bei der späteren nochmaligen Durcharbeitung des gesammten Beobachtungsmaterials unter Benutzung der officiellen Quellen und namentlich des Minenplans ergab sich die Verallgemeinerung der bei der Versuchsmine gewonnenen Resultate und ihre Beziehung auf die während des ganzen Minenkriegs beobachteten Verhältnisse von selbst und ich muß nun meine damalige Auffassung, welche Scheidemann[1]) citirt, dahin präcisiren, daß nur in den ersten Stadien des Minenkriegs eine Analogie zwischen den Minengasen und dem Kohlendunst vorhanden ist, daß das Kohlenoxyd dann immer mehr zurücktritt und endlich Kohlensäure und Mangel an Sauerstoff als die vorwiegenden ätiologischen Momente der späteren Erkrankungen anzusehen sind, so weit diese nur aus einem Einfluß der Minengase resultiren.

Als Nicht-Mediciner muß ich den Sachverständigen die Scheidung der von Josephson, Rawitz, Scheidemann und Keßler beobachteten Krankheitsformen und ihre Zurückführung auf ihre wahre Ursache überlassen, da ich mich dazu nicht für competent erachte. Diese Kritik wird jetzt, auf Grund des neu gewonnenen Beobachtungsmaterials, um so unbefangener geübt werden können. Eulenberg[2]), welcher die Minenkrankheit nicht aus eigner Anschauung kennt, hat diese Scheidung bereits vollzogen, indem er meint, daß die von Rawitz mitgetheilten Krankheitsbilder und Symptome „mit Bestimmtheit dafür sprächen, daß unter den Gasen des Pulverdampfes die Kohlensäure sehr reichlich vertreten gewesen sei. Schon die starke Schweißbildung und der der Trunkenheit ähnliche Zustand liefern den Beweis hierfür.“ Keßler[3]) hat ganz analoge Krankheitsbilder mitgetheilt.

Den schlagendsten Beweis für die Richtigkeit meiner oben ausgesprochenen Ansicht über die im Laufe des Minenkriegs wechselnde Natur der Minengase finde ich aber in der von allen Beobachtern

1) l. c. S. 49.
2) l. c. S. 131.
3) Diese Schrift S. 21.

gleichmäßig bestätigten Thatsache, deren statistische Beläge sich auf Seite 22 ff. befinden, daß die Zahl der Minenkranken im Lauf des Minenkriegs wesentlich abnimmt und schließlich sogar gleich Null wird. Diese Thatsache gestattet meiner Ansicht nach nur den einen Schluß, daß die krankmachende Ursache im Verlauf des Minenkriegs entweder ganz verschwindet oder doch wesentlich an Intensität verliert. Da nun ganz im Gegensatz zu den sich vermindernden und endlich ganz aufhörenden Erkrankungen die Entwicklung der Pulvergase, welche unzweifelhaft die Träger der krankmachenden Ursache sind, in steigender Progression zunimmt, so folgt daraus mit Nothwendigkeit, daß die Pulvergase im Verlauf des Minenkriegs eine wesentliche Aenderung in ihrer Zusammensetzung erleiden müssen. Ueber die Natur derselben können wir nach den Ausführungen des vorigen Abschnitts nicht in Zweifel sein, wir werden sie mit Nothwendigkeit auf das allmälige Verschwinden der brennbaren Gase und damit des Kohlenoxyds aus den Minengasen beziehen müssen.

Ueber die giftigen Wirkungen des Kohlenoxyds auf den Organismus herrscht allseitige Uebereinstimmung der Ansichten und wohl auch darüber, daß der Kohlendunst seine verderblichen Eigenschaften vorzugsweise diesem Gase verdanke und die Wirkung der Kohlensäure hier erst in zweiter Reihe stehe. Die älteren und neueren Toxikologen, namentlich aber die Monographien von Siebenhaar und Lehmann[1]) und von Friedberg[2]) über die Kohlendunstvergiftung und das Werk von Eulenberg über die Lehre von den schädlichen und giftigen Gasen enthalten über diesen Gegenstand ein reiches und wohl gesichtetes Material und lehren, welche geringe Mengen Kohlenoxyd im Kohlendunst schon die heftigsten Zufälle mit oft letalem Ausgang veranlassen können oder, wenn das Leben erhalten bleibt, wie oft lang andauernde Nachwirkungen, örtliche Lähmungen und sogar geistige Störungen, Manie und Blödsinn, als Folgen zurückbleiben können.

Leblanc[3]) ließ 35 Minuten lang Bäckerkohle in einem Zimmer verbrennen, in welches er einen Hund gebracht hatte. Dieser starb nach 25 Minuten, zu gleicher Zeit brannte ein Licht in dem Zimmer

1) Die Kohlendunstvergiftung ꝛc. Dresden 1858.

2) Die Vergiftung durch Kohlendunst. Berlin 1866.

3) Siebenhaar und Lehmann l. c. S. 11. Leblanc. Recherches sur la composition de l'air confiné. Paris 1842. Eulenberg l. c. 106.

noch hell und erlosch erst nach 35 Minuten. Der Kohlendunst enthielt 75,62 pC. Stickstoff, 19,19 pC. Sauerstoff, 4,61 pC. Kohlensäure, 0,54 pC. Kohlenoxyd und 0,04 pC. Kohlenwasserstoff. Orfila fand in 5200 CC. Luft eines 24½ Cubicmeter großen Zimmers, in welchem vier kleine Kohlenbecken anderthalb Stunden gebrannt hatten und ein Hund nach 52 Minuten starb, 570 Milligramme Kohlensäure, 29 Milligramme Kohlenoxyd und 2,65 Milligramme Kohlenwasserstoff. Dieß entspricht in Volumprocenten 5,57 pC. Kohlensäure und 0,45 pC. Kohlenoxyd[1]).

Eulenberg[2]) hat die aus glühenden Holzkohlen sich entwickelnden Gase direct analysirt und im Durchschnitt von 8 Analysen auf 2,54 pC. Kohlenoxyd 24,68 Kohlensäure gefunden. Die geringste Menge, 0,52 pC., Kohlenoxyd auf 11,34 pC. Kohlensäure zeigte Analyse 3 und die größte Menge, 5,4 pC., Kohlenoxyd auf 14,1 pC. Kohlensäure, Analyse 5, während Analyse 2 den größten Kohlensäuregehalt, 37,2 pC. auf 1,84 pC. Kohlenoxyd gab. Eulenberg ließ gemeßene Mengen des auf dieselbe Weise gewonnenen Kohlendunstes zu der Luft des Kastens treten, in welchem sich die dem Versuche unterworfenen Thiere befanden. Wenn wir unter den experimentellen Belägen von Eulenberg[3]) für die Wirkung des Kohlendunstes den Kohlenoxyd- und Kohlensäuregehalt der Luft des Kastens bei Beendigung des Experiments berechnen, so finden wir, daß im Versuch 1 bei einem Kaninchen Convulsionen und Asphyxie bei einem Gehalt von 0,77 pC. Kohlenoxyd und 15,62 pC. Kohlensäure eintraten, während im Versuch 4 ein Kaninchen nach einer halben Stunde in einer Luft starb, welche nach den Eulenberg'schen Zahlen berechnet nur 0,24 pC. Kohlenoxyd und 5,32 pC. Kohlensäure enthielt.

---

1) Siebenhaar sowohl wie Eulenberg haben hier Ungleichartiges auf einander bezogen, wenn sie in dem Versuch von Orfila das Verhältniß der Kohlensäure zum Kohlenoxyd wie 20 : 1 berechnen gegenüber dem Versuche von Leblanc, wo dasselbe 8 : 1 ist. Sie haben nämlich die procentische Zusammensetzung der Zimmerluft im Versuche von Orfila, welche sich auf 5200 CC. bezieht, ohne vorherige Reduction der Gewichtsmengen der gefundenen Bestandtheile auf Raumtheile, berechnet. Geschieht aber diese Reduction, dann verhält sich hier die Kohlensäure nicht wie 20 : 1 sondern wie 12 : 1, wodurch eine größere Uebereinstimmung mit dem Versuch von Leblanc herbeigeführt wird.

2) l. c. S. 107.

3) l. c. S. 115.

Es ist lebhaft zu bedauern, daß Eulenberg in seinem lehrreichen Werke und bei seinen interessanten Versuchen über den Kohlendunst nicht auch dessen Gehalt an Sauerstoff und Stickstoff bestimmt hat. Man ist in völliger Ungewißheit darüber, ob die fehlenden Procente in den erwähnten acht Analysen nur Stickstoff darstellen oder ob diesem auch einige Procente Sauerstoff beigemischt sind. Die Construction des zu den Einathmungsversuchen dienenden Apparats läßt meiner Ansicht nach keine Controlle über die Veränderungen zu, welche die Zusammensetzung der im Kasten befindlichen Luft durch das Zuleiten der betreffenden Gase und durch den Athmungsproceß der Thiere selbst erleidet. Eine Ventilations-Vorrichtung ist nicht beschrieben, und da durch das Einströmen der Gase nothwendig Luft aus dem Kasten verdrängt werden muß, so wird nur die directe Analyse die Zusammensetzung der im Kasten befindlichen Luft bei Beendigung des Experiments ergeben können. Mir will es scheinen, daß man auch bei diesen Versuchen entweder das von Wilhelm Müller[1]) benutzte Verfahren oder das von Pettenkofer[2]) bei dem großen Respirations-Apparat in München mit so vielem Erfolg zur Geltung gebrachte Princip der Differenz-Analysen wird nothwendig adoptiren müssen. Man wird an Einrichtungen denken müssen, welche die chemische Analyse der in den Apparat zu den Versuchsthieren gelangenden und der austretenden Luft in jedem Beobachtungsmoment auszuführen gestatten, wenigstens wird man die unmittelbar vor Beginn und die nach Beendigung des Versuchs im Apparat vorhandene Luft analysiren müssen. Nur so wird man, wie in den später zu beschreibenden Müller'schen Versuchen, ein den pathologischen Prozessen parallel laufendes Bild der Zusammensetzung der wirkenden Factoren erhalten und wird diese selbst vollständig übersehen können. Ich glaube in der Behauptung nicht zu irren, daß die von einander abweichenden Angaben der verschiedenen Beobachter über die letalen Mengen der giftigen Gase weniger in der verschiedenen Empfänglichkeit der verschiedenen Versuchs-Individuen als in dem Mangel einer beständigen Controlle der Zusammensetzung der zu den Versuchen benutzten, giftigen Atmosphäre ihre Erklärung finden dürften.

---

1) Liebig, Annalen der Chemie. B. 108. S. 257 ff.

2) Liebig, Annalen der Chemie. II. Supplementband. S. 1 ff.

Wie dem nun auch sei, über die intensive Schädlichkeit der Einathmung selbst kleiner Mengen von Kohlenoxyd herrscht kein Zweifel. Leblanc und Orfila hatten in den erwähnten Versuchen durch Verbrennen von Kohlen in einem geschloßnen Zimmer dieselben Verhältnisse hergestellt, wie sie bei einer Kohlendunstvergiftung stets vorhanden und auch für den Menschen verhängnißvoll sein werden. Sie hatten in dieser Kohlendunst-Atmosphäre Hunde innerhalb 25 und 50 Minuten sterben sehen, obwohl die Luft nur 0,5 pC. Kohlenoxyd neben 5 pC. Kohlensäure enthielt. Bei den Versuchen von Eulenberg (Versuch Nr. 4) starb ein Kaninchen nach einer halben Stunde in einer Luft, welche nur 0,24 pC. Kohlenoxyd, allerdings neben 5,5 pC. Kohlensäure, enthalten konnte.

Scheidemann, der eifrige Verfechter der ausschließlichen Kohlenoxydwirkung der Minengase, citirt in seiner Abhandlung[1]), daß nach den Versuchen von Leblanc und Langlois ein Sperling schon in einer Minute in einer Luft stirbt, welche 1 pC. Kohlenoxyd enthält und daß ein Meerschweinchen in einer, 2 pC. Kohlenoxyd enthaltenden Luft ebenfalls schon nach einer Minute dem Sterben nahe war. Nach Letheby und Claude Bernard bekommen Vögel in einer 5 pC. Kohlenoxyd enthaltenden Atmosphäre sofort Zuckungen und sterben in 3 Minuten. Nach Tourdes starben Dompfaffen augenblicklich in einer Luft, welche 4—5 pC. Kohlenoxyd und nach 2 Minuten, wenn sie nur 1 pC. enthielt. Kaninchen blieben nie länger als 37 Minuten am Leben, wenn die Luft 3 pC. enthielt, bei 6 pC. nie länger als 23 Minuten und bei 12 pC. erfolgte der Tod binnen 7 Minuten. Scheidemann citirt ferner aus Eulenberg's Werke, „daß ein Kaninchen bei 1 pC. in einer Stunde, bei 3 pC. in 20 Minuten, bei 5 pC. in 10 Minuten starb. Die schädliche Einwirkung machte sich beim ersten Kaninchen nach 3 Minuten geltend (durch beschleunigtes Athmen und Abgang von Koth und Urin), beim zweiten nach 2 Minuten (durch verlangsamte Respiration und eine Minute später durch Hinfallen auf die Seite), beim dritten Kaninchen sofort (durch plötzliches Hinstürzen, Entleerung von Koth und Urin und die heftigsten Convulsionen)."

Nach Friedberg[2]) „bemerkt man bei den Versuchsthieren, selbst

1) l. c. S. 22.
2) l. c. S. 35.

wenn kaum ½ pC. Kohlenoxyd in der Athmungsluft enthalten ist, schon nach den ersten Athemzügen ängstliches Benehmen, gleichsam, als ob das Thier erschrocken wäre, Beschleunigung des Athmens, Sinken der Temperatur. Sodann folgt ein kurzer Zeitraum der Beruhigung, die sichtbaren Schleimhäute werden roth, die Gefäße der Hautdecken füllen sich an, die Absonderung der Thränenflüssigkeit, des Nasenschleims und des Speichels wird reichlich, willkürliche Bewegungen hören auf, das Athmen wird angestrengt, mit activer stürmischer Exspiration. Das Thier schwankt, taumelt und sinkt um, häufig unter dem Ausbruche von clonischen und tonischen Krämpfen, welche meist das Thier, bevor es zusammenbricht, emporschnellen und hierdurch einen Fluchtversuch vortäuschen. Man bemerkt sensitive und motorische Lähmung, Ausbleiben von Reflexen auf Reizung, Schielen oder Nystagmus, Hervorstarren der Augen, Erweiterung der Pupille, langsame, tiefe Athemzüge, Abnahme der Pulsfrequenz, sodann allgemeine Erschlaffung, Aussetzen des Athmens, schwache, unregelmäßige Pulsation des Herzens, welche nach dem Aufhören des Athmens einige Zeit fortdauert, bis sie gänzlich erlischt. Das Stadium des ängstlichen Benehmens kann sehr kurz sein, selbst gänzlich fehlen, wenn schnell eine größere Menge Kohlenoxyd eingeathmet wird: Das Thier stürzt dann plötzlich um, betäubt und reactionsunfähig, Starrkrampf und Zuckungen treten mit Blitzesschnelle ein, auf wenige schnelle Athemzüge mit activer Exspiration folgt sofort langsames, tiefes und seltenes Athmen, die beschleunigte Herzcontraction wird bald schwach und unregelmäßig, die Krämpfe weichen einer allgemeinen Erlahmung und der Tod tritt rasch ein."

In Betreff der Einwirkung des Kohlenoxyds auf Menschen liegen einige charakteristische Beobachtungen vor. Eine einmalige Einathmung von Kohlenoxyd genügte, um den Chemiker Chenot[1]) sofort rücklings zu Boden zu werfen und die bedenklichsten Krankheits-Erscheinungen hervorzurufen, welche noch Monate lang deutliche Spuren in seinem Befinden zurückließen. Witter[1]) welcher im Mai 1814 in dem Laboratorium der Dublin-Society Versuche über die Wirkung des eingeathmeten Kohlenoxyds anstellte und 3—4 tiefe Inspirationen dieses Gases machte, fiel sofort besinnungs- und empfindungslos zu Boden, und es bedurfte der angestrengten Thätigkeit der anwesenden Aerzte, um ihn wieder ins Leben zurückzurufen, worauf Krämpfe und nach der

1) Friedberg l. c. S. 37 und 38.

Wiederkehr des Bewußtseins, vollkommene Blindheit, Gefühl von schwerer Erkrankung, Schwindel und abwechselnde Hitze und Kälte eintraten. Erst nach einiger Zeit wurden diese beunruhigenden Symptome gehoben.

An diese Beobachtungen reihen sich eine Anzahl, die Kohlendunstvergiftung betreffende Krankengeschichten von Siebenhaar und Friedberg an, bei denen allerdings chemische Analysen der todtbringenden Atmosphäre nicht mitgetheilt werden, diese sich aber in ihrer Zusammensetzung wohl kaum von der von Leblanc und Orfila künstlich hergestellten unterscheiden dürfte.

Wenn wir diese Erfahrungen mit der von Bunsen, Linck und Károlyi gefundenen Zusammensetzung der Pulvergase zusammenhalten und diese in den Minengasen voraussetzen oder wenn wir jene Erfahrungen mit den Resultaten der Analysen 1—8 meiner Untersuchung der Minengase vergleichen; so werden wir keinen Augenblick zweifelhaft über die wirkenden Ursachen sein können. Warum beobachteten wir aber ihre verheerenden Wirkungen nur in den ersten Tagen eines Minenkriegs? Warum verschwindet allmälig die Minenkrankheit, während doch dasselbe Pulver zu allen Explosionen benutzt wird, die Entwicklung der Pulvergase in steigender Progression zunimmt und das durchschossene Erdreich immer reicher an Pulvergasen werden muß? Diese Frage wird je nach den verschiedenen Anschauungen verschieden beantwortet, keinem Beobachter ist die Bedeutung derselben entgangen.

Josephson[1]) findet die Erklärung in der heilsamen und schützenden Wirkung der Kalmuswurzel. Vom dritten Tage des Minenkriegs in Jülich an „wurde sämmtlichen Mineuren, ehe sie an die Arbeit gingen, etwa eine Unze eines Kalmusbranntweins verabreicht, den ich aus einem Quart Kornbranntwein und zwei Unzen Tinctura Calami anfertigen ließ. Unleugbar wurde darnach die Zahl der Kranken unverhältnißmäßig gering (vergl. d. Tabelle auf Seite 22), und die wenigen, die sich noch fanden, waren so leicht erkrankt, daß sie schon nach sehr kurzer Zeit wieder an ihre Arbeit zurückkehrten, nie aber über jenen anhaltenden Kopfschmerz und den heftigen Frost zu klagen hatten. Ich glaube die Anwendung dieses Mittels zur Prophylaxe — und ebenso zur Beseitigung der Intoxications-Erscheinungen nach zurückgekehrtem Bewußtsein der Minenkranken — aufs angelegentlichste

1) l. c. S. 15.

empfehlen zu können, um so mehr, als mir wenigstens nichts bekannt ist, wodurch sich die erlangten Resultate anders erklären ließen; die Arbeit ging unter ganz denselben Verhältnissen vor sich und wurde durch dieselben Arbeiter bewerkstelligt; denkbar wäre es höchstens, daß sich die Empfindlichkeit gegenüber dem Gift allmälig abgestumpft hätte. Aber auch dann wäre es höchst auffällig, daß, nachdem Tags zuvor noch ganze Reihen von der Krankheit ergriffen waren, so plötzlich die Receptivität dafür erloschen wäre."

Rawitz[1]) führt als prädisponirendes Moment zur Erkrankung die hohe Temperatur bei gänzlicher Windstille an, da an den letzten Tagen des Minenkriegs bei Glogau, an denen das Thermometer Mittags nur c. + 20° R. zeigte und starke Windströmungen herrschten, gar keine Minenkrankheit beobachtet wurde, trotzdem an diesen Tagen unter sonst ganz gleichen Verhältnissen (in ebenso und noch mehr durchschossenen Erdreich, bei ebenso mangelhafter Ventilation und nach Verlauf eines gleichen Zeitraums nach den Sprengungen) gearbeitet wurde". Den Umstand, daß trotz so häufiger heftiger Erkrankung, bisher noch kein Fall von Minenkrankheit tödlich abgelaufen sei, während doch die Kohlendunst- resp. Leuchtgas-Vergiftung schon so viele Opfer gekostet hat, sucht Rawitz daraus zu erklären, daß zur Zeit, wo die Arbeiten nach vorausgegangener längerer Ventilation wieder aufgenommen werden, die Luft in den Gallerien nicht mehr den zu einer tödtlichen Wirkung hinreichenden Gehalt an schädlichen Gasen besitze.

Scheidemann[2]) tritt dieser letzteren Ansicht ganz entschieden entgegen. „Dem sei nicht so, vielmehr liege der Grund darin, daß die durch Kohlendunst oder Leuchtgas Verunglückten ganz gewöhnlich im Schlafe oder wenigstens ohne die Gefahr vorher zu ahnen, von dem Gifte ergriffen wurden und ohne Hülfe in der vergifteten Luft lange Zeit verblieben, während die Mineure, die Gefahr kennend, beim Eintritt der ersten Symptome die Gallerie verlassen können, oder wenn sie, was nicht so selten geschieht, plötzlich von heftigeren Symptomen befallen, nicht mehr willensmächtig sind, von ihren in derselben Gallerie arbeitenden Kameraden in die freie Luft geschafft werden und hier sofort alle mögliche Hülfe erwarten dürfen." Da auch Scheidemann

1) Scheidemann. l. c. S. 26.
2) l. c. S. 26.

beobachtet hat, „daß im weiteren Verlaufe des Minenkriegs die Zahl der Kranken wesentlich nachläßt, so scheint ihm das entweder für eine allmälige Abstumpfung der Empfindlichkeit gegenüber dem Gift, für eine „Gewöhnung“ an dasselbe zu sprechen, oder in einer größeren Aufmerksamkeit der Arbeiter begründet zu sein, welche sie veranlaßt, bei den ersten, ihnen durch die Erfahrung als verderblich bekannten Vergiftungserscheinungen, frühzeitig genug sich einer stärkeren Einwirkung des Giftes zu entziehen.“

Bei aller Anerkennung der getroffenen Vorsichtsmaßregeln und der im vollsten Umfange geleisteten kameradschaftlichen und der stets nahen ärztlichen Hülfe, so wie der im Lauf des Minenkriegs in Beziehung auf die Beobachtung der gefährlichen Symptome wachsenden Aufmerksamkeit der Mineure, welche übrigens oft genug von ihrem Dienst- und Kampfeseifer zurückgedrängt werden mag, muß ich den angeführten Gründen in ihrer Beziehung auf das allmälige Verschwinden der Minenkrankheit jede Berechtigung absprechen, während ich gern zugestehen will, daß die in ihnen enthaltenen Momente dazu beitragen mögen, um einen lebensgefährlichen Ausgang der Minenkrankheit zu verhindern. Die giftigen Gase verrathen ihre Anwesenheit fast nur durch ihre verderbliche Wirkung auf den Organismus, denn der Minengeruch ist meist durch das ganze Minensystem verbreitet und sein Auftreten kaum eine Warnung zu nennen. Wie kann sich daher der Mineur durch Aufmerksamkeit ihrem Einfluß entziehen, wenn nach der übereinstimmenden Beschreibung der Minenkrankheit von Josephson, Rawitz und Scheidemann, „schon in der gelindesten Form der Krankheit (Seite 16) die Arbeiter während ihrer Thätigkeit, innerhalb der Gallerie, plötzlich einen bohrenden Schmerz in der Mitte der Stirn fühlen, der sie so schnell und mit solcher Heftigkeit überfällt, daß sie taumelnd niedersinken; oder „wenn der Arbeiter (S. 17) ganz wohl aussehend aus der Gallerie zurückkommt und sich zu dieser oder jener Beschäftigung wendet, ohne daß irgend etwas an ihm auffiele und er dann plötzlich ohne einen Aufschrei niederstürzt; oder endlich, „wenn der Kranke wie vom Schlag getroffen, plötzlich in der Gallerie zu Boden stürzt?

Noch weit weniger kann wohl von einer „Gewöhnung“ an das Gift die Rede sein, da nach den Ansichten von Scheidemann die Luft in den Gallerien, auch nach vorausgegangener längerer Ventilation, noch den zu einer tödtlichen Wirkung hinreichenden Gehalt an schäd-

lichen Gasen besitzt, da nach seiner Ansicht das Kohlenoxyd die wahre Ursache und der Hauptfactor der Minenkrankheit und dieses Gas nach seiner Auffassung des Verbrennungsprocesses des Schießpulvers sich mit jeder Explosion in den Gallerien nothwendig vermehren muß. Man kann wohl verstehen, wie Metallarbeiter ꝛc. bei täglich wiederholter Einwirkung des Kohlenoxyds dem Gift gegenüber allmälig eine gewisse, wenn auch gewiß nur eng begrenzte Immunität erlangen können, so wie der Steiermärker sich allmälig an das Arsenikessen gewöhnt; daß aber die Mineure in dem kurzen Zeitraum von 8—10 Tagen — viel länger pflegt der Minenkrieg einer Belagerungsübung wohl nicht zu dauern — bei dem von Scheidemann vorausgesetzten hohen Kohlenoxydgehalt der Minengase diese Immunität erlangen sollten, zumal die Arbeiter beständig wechseln und oft noch gegen das Ende der Uebung neue Arbeiter die Minengallerien betreten: das ist nicht wohl einzusehen und widerspricht Allem, was über die Wirkung des Kohlenoxyds bekannt ist.

Diese Ansicht ignorirt aber auch vollständig den, durch die neueren Untersuchungen aufgehellten physiologischen Proceß bei dem Uebergang des Kohlenoxyds in das Blut.

Der Lebensproceß der Organismen stellt eine Summe von chemischen und physikalischen Vorgängen dar, welche in ihrer Gesammtheit die Existenz und Erhaltung des Individuums bedingen und welche so weit sie in Stoffaufnahme und Stoffabgabe zur Erscheinung kommen, Stoffwechsel genannt werden. Im thierischen Organismus muß der Stoffwechsel wesentlich als ein Verbrennungsproceß aufgefaßt werden, welcher unter Mitwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs in allen Geweben des Körpers ununterbrochen vor sich geht unter beständiger Abgabe von Kohlensäure, Wasser und stickstoffhaltigen Verbindungen. Der Athmungsproceß vermittelt den Austausch der gasförmigen Bestandtheile des Stoffwechsels, und die Blutbahn ist der Weg, auf welchem dieselben in dem Körper ein und aus demselben heraustreten. Die zur weiteren Ernährung der Gewebe untauglichen Stoffe, so weit sie nicht durch die Nieren oder die anderen Ausscheidungs-Organe entfernt werden, und die durch ihre Oxydation erzeugte Kohlensäure gelangen mit dem venösen Blute nach den Lungen und kommen hier in Berührung mit dem bei jedem Athemzuge eindringenden Sauerstoff der Luft. Dieser verdrängt ebensowohl durch seine, hier

höhere Spannung als, wie Lothar Meyer[1]) zuerst nachgewiesen hat, durch chemische Anziehung die freie Kohlensäure aus dem Blut und, indem er in chemischer Verbindung mit den Blutkörperchen, dem Hämoglobin, im arteriellen Blutstrom zu allen Geweben dringt und diese umspült, greift er als Hauptagens in die beständige und den Lebensproceß bedingende Umsetzung aller Gewebe ein. Während der Sauerstoff von dem Blutkügelchen chemisch gebunden wird und daher seine Aufnahme unabhängig von dem Druck stattfindet, welchen dieses Gas auf das Blut ausübt; so folgt die Abscheidung der Kohlensäure lediglich dem Absorptionsgesetz. Durch den Sauerstoff aus dem Blut verdrängt, tritt sie nur deswegen in die atmosphärische Luft aus, weil hier der Partialdruck der Kohlensäure[2]) weit geringer als derjenige ist, unter welchem sich dieselbe im Blut der Lunge befindet. Greift nun irgend ein Moment störend in diesen normalen Verlauf des Gasaustausches ein, wird die Fähigkeit der Blutkügelchen, Sauerstoff aufzunehmen, wesentlich beeinträchtigt oder ganz aufgehoben, oder der Austritt der Kohlensäure aus dem Blute verhindert; so muß jede erhebliche Störung der Art für den Organismus verhängnißvoll werden und das Leben gefährden, um so mehr als „die Nervencentralgebilde, Gehirn, Rückenmark und Gangliensystem, und namentlich die in dem verlängerten Marke befindlichen Centra für die Respiration und Herzthätigkeit, die ununterbrochene Einwirkung eines richtig beschaffenen Bluts erheischen.“ (Friedberg.)

Eine jede Einathmung von Kohlenoxyd führt aber eine solche Störung herbei. Wir entlehnen auch ihre Schilderung der Monographie von Friedberg[3]) „die Vergiftung durch Kohlendunst“, welche vom Standpunkt der neuesten Forschungen ihren Gegenstand in ebenso übersichtlicher als interessanter Weise behandelt.

Das Kohlenoxyd wird vom Blut begierig aufgenommen. Unter Verdrängung eines gleichen Volumens Sauerstoffs geht es mit den Blutkörperchen, dem Hämoglobin, eine chemische Verbindung ein, welche durch Sauerstoff nicht mehr zersetzt wird. Claude Bernard[4]) hat auf dieses Verhalten gradezu eine analytische Methode der Bestimmung

1) Die Gase des Blutes. Inaugural-Dissertation. Göttingen 1857.
2) cf. Seite 97.
3) l. c. S. 35.
4) Zeitschrift für analytische Chemie 1863 S. 118.

des Blutsauerstoffs gegründet. Die lebensgefährliche Wirkung des Kohlenoxyds beruht auf dieser Verdrängung des Sauerstoffs und seiner chemischen Verbindung mit dem Hämoglobin, durch welche die betreffenden Blutkörperchen aufhören, als Sauerstoffträger zu functioniren und die Oxydation der Gewebe nur noch denjenigen Blutkörperchen zufällt, welche frei von Kohlenoxyd geblieben sind. Eulenberg[1]) bestreitet zwar die chemische Verbindung des Kohlenoxyds mit dem Blut, diese Thatsache aber unterliegt nach den Untersuchungen von Lothar Meyer, Hoppe-Seyler, Kühne und Ludimar Hermann keinem Zweifel. „Das Kohlenoxyd raubt daher dem Blut die Fähigkeit die Gewebe überhaupt, also auch diejenigen der Centralgebilde des Nervensystems, in einem leistungsfähigen Zustande zu erhalten."

Das in das Blut aufgenommene Kohlenoxyd kann, wie Pokrowsky nachwies, zu Kohlensäure verbrennen und als solche ausgeathmet werden. „Wenn die Blutkörperchen aus der Athmungsluft ein ausreichendes Quantum von Sauerstoff, aber nur ein verhältnißmäßig geringes von Kohlenoxyd aufnehmen, dann kann das Leben eine Zeitlang fortdauern, so lange nämlich, als die Oxydation des Kohlenoxyds und die Ausscheidung der Kohlensäure in ausreichendem Maße vor sich gehen. Erst dann wird diese langsame Vergiftung tödten, wenn so viel Kohlenoxyd von den Blutkörperchen chemisch gebunden ist, daß sie die zur Erhaltung des Lebens erforderliche Beschaffenheit einbüßen. Erreicht die Vergiftung diese Sättigung nicht, dann kann durch eine ausreichende Zufuhr von Sauerstoff aus der Athmungsluft die Verbrennung des Kohlenoxyds beschleunigt und dessen gänzliche Entfernung aus dem Körper bewirkt werden, also Genesung eintreten. Diese eben angedeutete Möglichkeit der Lebensrettung beruht aber immer noch darauf, daß das Kohlenoxyd den Sauerstoff der Blutkörperchen nicht gänzlich ausgetrieben habe. Ist die chemische Verbindung der letzteren mit dem Kohlenoxyd eine durchgreifende und vollendete, dann ist weder die Sauerstoffzuleitung, noch ein anderes von den uns bekannten Mitteln im Stande diese Verbindung zu lösen und zugleich die Blutkörperchen in einen athmungsfähigen Zustand zurückzuführen. Dann ist die Lebensrettung nur dadurch zu erreichen, daß eine hinlängliche Menge des kohlenoxydhaltigen Blutes durch einen Aderlaß

1) l. c. S. 51.

entfernt und durch Einspritzen von gesundem Blute sofort ersetzt wird. Kühne hat deshalb die Transfusion des Blutes mit Erfolg bei, mit Kohlenoxyd vergifteten Thieren ausgeführt."

„Ist das Kohlenoxyd in der Athmungsluft in reichlicher Quantität enthalten, dann erfolgt die Sättigung der Blutkörperchen durch dasselbe rasch, es bleibt keine Zeit für die erforderliche Oxydation zu Kohlensäure und für die Entfernung dieses Gases, und der Tod tritt schnell ein."

Bei einem so tief eingreifenden physiologischen Proceß, wie die Aufnahme des eingeathmeten Kohlenoxyds in das Blut, welcher zugleich völlig unabhängig von der individuellen Beschaffenheit desselben auch außerhalb des Organismus vor sich geht, kann von einer Gewöhnung an das giftige Gas keine Rede sein. Es kann sich hier nur um ein Mehr oder Minder der eingeathmeten Menge handeln und vielleicht in engen Grenzen um die wechselnde individuelle Befähigung, unter wiederhergestellten normalen Verhältnissen so rasch wie möglich das eingeathmete Kohlenoxyd zu Kohlensäure zu oxydiren. Die Störung in dem normalen Gaswechsel des Bluts muß nothwendig bald den ganzen Organismus in Mitleidenschaft ziehen, und dieß würde in eben so hohem Grade als in kurzer Zeit eintreten müssen, wenn die Natur und die durchschnittliche Zusammensetzung der Minengase während des ganzen Minenkriegs durch die Analysen 1—8 meiner Untersuchung repräsentirt würde, wie Scheidemann annimmt. Die Mineure würden sich in diesem Fall nicht blos an die Einwirkung des Kohlenoxyds, sondern auch an ein Uebermaß von Kohlensäure und an eine an Sauerstoff arme Luft gewöhnen müssen.

Scheidemann ist daher, trotz seiner, hier wohl nicht zutreffenden Berufung auf Siebenhaar und Orfila[1]), die Erklärung für das allmälige Verschwinden der Minenkrankheit während des Minenkriegs vollständig schuldig geblieben.

Die ganze Sachlage aber ändert sich, wenn wir in den Analysen 1—8 das Kohlenoxyd eliminiren. Es bleibt dann ein Gasgemisch übrig, welches auf 0,95—0,49 Volumtheile Kohlensäure, 4,88—17,39 V.-Th. Sauerstoff und 76,98—81,47 V.-Th. Stickstoff enthält.

Wir haben oben ausgeführt, daß die Kohlensäure im Blute dem Absorptionsgesetz folgt, daß ihr Austritt aus dem venösen Blut in den

1) l. c. S. 27.

Lungen nur möglich wird, weil der Partial-Druck der Kohlensäure in der atmosphärischen Luft geringer ist als der Druck, unter welchem sich die ausgeschiedene Kohlensäure in den Lungenbläschen befindet. Steigert sich dieser Partial-Druck in der Atmosphäre durch Zufuhr von Kohlensäure, wird er endlich dem Druck der Blutkohlensäure gleich oder überragt er denselben, dann kann die letztere nicht mehr austreten, ja es wird im Gegentheil sogar Kohlensäure aus der Atmosphäre ins Blut übertreten und damit der Gasaustausch des letzteren in ganz anomale Bahnen gelenkt werden. Die durch den Stoffwechsel in den Geweben erzeugte Kohlensäure wird in diesem Fall vom Blut nicht mehr aufgenommen werden, sie wird sich in den Geweben anhäufen, hier den Stoffwechsel wesentlich alteriren und endlich seinen Stillstand, d. h. den Tod herbeiführen.

Das ist der physiologische Verlauf einer Vergiftung durch Kohlensäure, wie ihn W. Müller[1]) durch zahlreiche Versuche an Thieren und durch exacte chemische Analysen begründet hat. Er ließ Kaninchen in einem abgeschloßnen, nur sehr wenig Stickstoff, 1,5 pC. enthaltenden Volumen Sauerstoff längere Zeit athmen. In der ersten Zeit blieb das Volumen des Gases fast unverändert, dann aber trat bald ein Zeitpunkt ein, wo die Veränderung des Gasvolumens deutlich bemerkbar wurde und von da ab stetig fortschritt. In dem Maaße als der Sauerstoff im Athmungsproceß verbraucht wurde, hinderte der immer mehr wachsende Partial-Druck der ausgeathmeten Kohlensäure im Apparat die weitere Ausscheidung dieses Gases aus dem Blute und ließ endlich sogar die bereits ausgeathmete Kohlensäure wieder in dasselbe zurücktreten. Diesen Verhältnissen entsprechend ist das Verhalten der Versuchsthiere. Bei Anfangs ruhigem Athmen kommt bald ein Zustand der Aufregung und schon leichte Reize rufen lebhafte Reflexbewegungen, Zuckungen, hervor. Dieser Zustand ist jedoch nur vorübergehend. Die Thiere werden ruhiger, die Reflexbewegungen immer spärlicher, bis sie endlich, außer an den Augen, an keinem anderen Theil des Körpers, selbst durch starke Einwirkungen, hervorgebracht werden können. Die Beobachtung lehrt, daß bis dahin die Thiere ungefähr den dritten Theil ihres Körper-Volumens an Kohlensäure eingeathmet haben. Wird die Einathmung fortgesetzt, dann entwickelt die Kohlensäure gradezu giftige

1) Beiträge zur Theorie der Respiration. Liebig's Annalen. Band 108 S. 257 ff.

Eigenschaften. Jede Reactionsfähigkeit erlischt vollständig, die Extremitäten und endlich der ganze Körper wird kühl, der Herzschlag immer mehr beschleunigt und weniger fühlbar, endlich tritt allgemeine Lähmung und damit ein völlig ruhiger Tod ein. Die chemische Analyse zeigt, daß die Thiere bei ihrem Tode durchschnittlich ein, ihrem halben Körper-Volumen gleiches Volumen Kohlensäure aufgenommen haben, sie lehrt aber zu gleicher Zeit, daß die im Apparat zurückbleibende Luft die Atmosphärische an Sauerstoffreichthum übertrifft. W. Müller[1]) fand im 4. Versuch auf cc. 58,25 pC. Kohlensäure 36,26 pC. Sauerstoff und cc. 5,5 pC. Stickstoff, im dritten sogar auf 27,5 Kohlensäure und 13,8 pC. Stickstoff, 58,5 pC. Sauerstoff. Es geht daraus unzweifelhaft hervor, daß der Tod der Thiere hier nicht durch Mangel an Sauerstoff, sondern durch den directen, tödtlichen Einfluß der Kohlensäure herbeigeführt worden ist.

Friedberg[2]) faßt diese Wirkung der Kohlensäure in die Worte zusammen: „Die eingeathmete Kohlensäure wirkt als narcotisches Gift, anfangs aufregend, berauschend, sodann, bei zunehmender Quantität derselben, lähmend und endlich, bei der Sättigung tödtend, — also ähnlich dem Chloroform, worauf auch W. Müller schon aufmerksam macht. Friedberg widerlegt auch die irrthümliche Annahme, daß man in einer kohlensäurehaltigen Luft dann ohne Nachtheil athmen könne, wenn eine brennende Kerze in ihr nicht erlischt. Letztere kann nämlich fortbrennen, wenn die Luft nur 10—12 pC. Kohlensäure enthält, während für den Menschen das Einathmen einer Luft, in welcher nur 3 pC. Kohlensäure enthalten sind, lebensgefährlich werden und bei einem Gehalt von 10% der Tod schnell eintreten kann.“

Die mehr oder weniger rasche und verderbliche Wirkung der Kohlensäure wird also wesentlich davon abhängen, ob und wie viel Sauerstoff die Athmungsluft enthält. Ist dieser Gehalt geringer als in der Atmosphäre, so werden auch die Vergiftungs-Symptome früher erscheinen, weil sich dann noch die schädlichen Folgen des bald eintretenden Sauerstoffmangels hinzuaddiren. Auch über diese Verhältnisse verdanken wir Wilhelm Müller[3]) befriedigende Aufschlüsse. Er fand, daß bei einem Verhältniß von 1,74 pC. und 2,94 pC. Sauer-

1) l. c. S. 311.
2) l. c. S. 19 und 20.
3) l. c. S. 311.

stoff auf 98,26 und 97,06 pC. Stickstoff schon nach einer Minute die heftigsten Erstickungszufälle eintraten, daß ein Thier unter sehr beschwerlicher Respiration 15 Minuten in einer Luft lebte, welche nur 4,48 pC. Sauerstoff enthielt, daß das Gleiche mit tiefen Athemzügen der Fall war in einer 7,5 pC. Sauerstoff enthaltenden Luft und daß bei 14,8—15,4 pC. Sauerstoff die Thiere ohne besondere Erscheinungen 15 Minuten athmeten. Diese letztere Thatsache dürfte die auf Seite 25 citirten Angaben von Orfila in Frage stellen.

Charakteristisch für die Kohlensäurevergiftung sowohl, als für die durch Mangel an Sauerstoff auftretenden Krankheits-Erscheinungen ist die rasche Erholung der Versuchsthiere bei Wiederherstellung der normalen Athmungsverhältnisse. Bei der Untersuchung von Müller konnten dieselben Thiere oft 6 bis 7 mal zu den Versuchen, welche stets bis an die äußerste Grenze des Lebens führten, benutzt werden. Es ist dieß der Kohlenoxydvergiftung gegenüber auch leicht erklärlich, da die Kohlensäure nur eine lose Verbindung mit den Blutkörperchen eingeht, welche durch Sauerstoff sehr leicht zerlegt wird, während dieß bei der entsprechenden Kohlenoxydverbindung nicht der Fall ist, wo das Gift erst durch die Lebensthätigkeit des Organismus in Kohlensäure umgewandelt werden muß, wenn völlige Wiederherstellung möglich sein soll.

Die Beziehungen zwischen den Minengasen und den raschverlaufenden Formen der Minenkrankheit, sowie ihrem endlichen Verschwinden im weiteren Verlauf des Minenkriegs werden sich jetzt wohl in ungezwungener und befriedigender Weise aus dem gleichzeitigen Verschwinden des Kohlenoxyds aus dem Minenterrain ergeben.

Wenn wir in den Minengasen, deren Zusammensetzung durch die Analysen 1—8 ausgedrückt wird, das Kohlenoxyd als nicht vorhanden betrachten, so wird in ihnen, mit Ausnahme von Nr. 1, der Athmungsproceß vielleicht durch kurze Zeit einen ruhigen Verlauf nehmen, die Mineure werden in der betreffenden Gallerie vordringen und ihre Arbeiten beginnen können. Mit der Vermehrung des Partial-Drucks der Kohlensäure durch den Athmungsproceß und der durch ihn hervorgerufenen Verminderung des freien Sauerstoffs werden bald die oben geschilderten Vergiftungs-Symptome der in dem Blute zurückgehaltenen Kohlensäure nach einander auftreten. Diese dürften aber wohl schon im ersten Stadium der Narcose ihr Ende finden, weil in demselben der Mineur arbeitsunfähig und daher von seinen noch gesunden

Kameraden herausgeschafft wird. Bei verhältnißmäßig kurzem Aufenthalt und rascher Ablösung wird unter Umständen gar keine Erkrankung eintreten, wenn durch Ventilation die Luft in beständiger Bewegung erhalten und damit eine möglichst gleichmäßige Mengung der aus der Verdämmung oder dem Erdreich einströmenden Gase erzielt wird. Bei einem Kohlenoxydgehalt derselben würde die Ventilation in diesem Falle nur einen sehr bedingten Schutz gewähren. Hierher gehören wahrscheinlich die leichten Erkrankungen, bei denen der Mineur nach kurzer Zeit wieder zur Arbeit zurückkehrt und nie „über anhaltenden Kopfschmerz und heftigen Frost klagt", deren raschen Verlauf Josephson der günstigen Wirkung der Kalmuswurzel zuschreibt.

Die Erkrankungen werden häufiger und heftiger auftreten bei dem Aufräumen gesprengter Gallerien, beim Zurückarbeiten der Verdämmung, beim Vorgehen im durchschossenen Terrain, in den Aufhauen. Die auf die Versuchsmine bezüglichen Analysen lehren einmal die Absorptionsfähigheit des Erdbodens und der Verdämmung für Kohlensäure und Stickstoff, dann aber auch, daß die Verdämmung die während und unmittelbar nach der Explosion absorbirte Kohlensäure wieder abgiebt und auf diese Weise namentlich beim Aufräumen der Mine zu einer ergiebigen Kohlensäurequelle wird. Die Ventilatoren können ihre Thätigkeit nur bis unmittelbar vor die Verdämmung ausüben, und wenn ihnen auch ein Theil der Gase aus der Verdämmung zuströmt, so bedarf doch die Diffusion der zugeführten atmosphärischen Luft und der in den Hohlräumen befindlichen Gase längere Zeit, um Gleichgewicht herzustellen.

Unter solchen Umständen sieht sich der Mineur, welcher in der gesprengten Gallerie vor der Verdämmung vielleicht noch keine sonderlichen Beschwerden empfindet, plötzlich beim tieferen Eindringen in dieselbe in eine Gas-Atmosphäre versetzt, deren Zusammensetzung, wenn sie der Analyse 1 nur annähernd entspricht, auch bei völliger Abwesenheit von Kohlenoxyd nothwendig ein rasches und heftiges, aber vielleicht auch eben so rasch vorübergehendes Erkranken zur Folge haben muß. Hierher gehören unzweifelhaft die Erkrankungen vom 24. August beim Aufräumen der Ecoute m und die Erkrankungen vom 28. August beim Vorgehen in dem Aufhau von Ecoute m" und vielleicht auch jene am 23. August beim Aufräumen des Rameau D.

Die Verdämmung und der Erdboden absorbiren mehr als 90 pC. der durch die Pulver-Explosion entwickelten Kohlensäure und über 25

pC. Stickstoff und setzen diese Quantitäten damit vor der Hand außer Wirkung. Diese Absorption bedingt, wie gezeigt worden ist, nothwendig ein Rückströmen der atmosphärischen Luft nach dem Explosionsherd und damit eine wesentliche Verdünnung der Pulvergase in den Gallerien vor den gesprengten Têten, in denen der Mineur, weil er keinem absolut giftigen Gase mehr begegnet, in vielen Fällen ungefährdet und ohne zu erkranken vordringen kann.

Wir dürfen daher den Inhalt dieses Abschnitts wohl dahin zusammenfassen, daß, wenn einerseits die chemische Analyse das Verschwinden des Kohlenoxyds, des einzigen hier in Betracht kommenden absolut giftigen Gases, im weiteren Verlauf des Minenkriegs nachweist und die Betrachtung der chemisch-physikalischen Vorgänge bei der Explosion einer Mine die Gründe für dieses Verschwinden angiebt, zu gleicher Zeit aber auch die Bedeutung der Kohlensäure und der Armuth an Sauerstoff in den Minengasen hervorhebt; daß dann andererseits die wechselnde Natur, das immer weniger heftige Auftreten und das endlich vollständige Erlöschen der Minenkrankheit als der treue Ausdruck, als das nothwendige Correlat dieser Veränderungen in der Zusammensetzung der Minengase erscheint.

Es wird nun vorzugsweise, wenn nicht ausschließlich Sache der Medicin sein, durch eine sorgfältige Kritik die vorhandenen Beobachtungen der Minenkrankheit ebensowohl in dieser Richtung zu sichten, als bei künftigen Beobachtungen das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von eingeathmeten Kohlenoxyd, auch neben den pathologischen Erscheinungen, durch die inzwischen von der Wissenschaft für diesen Zweck reichlich gebotenen physikalischen und chemischen Hilfsmittel direct nachzuweisen. Diese Beobachtungen werden aber bei einer größeren Belagerungsübung angestellt werden müssen und nicht blos an einer einzelnen oder isolirten Quetschmine. Denn bei dieser kann unmöglich dasselbe Bild der Zusammensetzung und der Natur der Minen-Atmosphäre gewonnen werden, wie in einem größeren Festungskriege, in welchem diese unterirdische Atmosphäre durch jede neue Explosion wie durch ein Gewitter gereinigt wird.

## Vorschläge zur Verhütung der Minenkrankheit.

Das wirksamste Mittel zur Beseitigung der Minenkrankheit wäre unzweifelhaft die Wahl eines explodirenden Präparats zum Sprengen der Minen, bei dessen Wirkung das Auftreten schädlicher Gase ausgeschlossen würde. Solchen Anforderungen dürfte kaum ein Präparat genügen. Denn da die Arbeit, welche dasselbe zu leisten hat, darauf beruht, daß es plötzlich in einem gegebenen Moment ein großes Volumen Gase aus sich entwickelt oder sich ganz in solche verwandelt, und keine chemische Verbindung bekannt ist, welche unter solchen Umständen respirable Gase ausgiebt, so wird in dieser Richtung die Lösung der Aufgabe enger begrenzt werden müssen und es wird schon viel gewonnen sein, wenn es gelingt, die Entwicklung von absolut giftigen Gasen in den Minen zu verhindern.

Die bis jetzt gebräuchlichen Sprengmittel sind: das Schießpulver, die Schießwolle und in neuester Zeit das Nobel'sche Sprengöl oder Nitroglycerin.

Die Beziehungen zwischen der Zusammensetzung des Pulvers und seiner gasigen Verbrennungsprodukte sind bereits Gegenstand einer eingehenden Besprechung gewesen. In keiner Sorte Schießpulver ist so viel Sauerstoff vorhanden, um bei Ausschluß der atmosphärischen Luft das Kalium, den Schwefel und den Kohlenstoff in ihre letzten Oxydations-Produkte überzuführen. Es muß sich daher stets mehr oder weniger Kohlenoxyd unter den Verbrennungs-Produkten des Schießpulvers vorfinden.

Genau dasselbe Verhalten zeigt die Schießwolle oder das Pyroxylin (Nitrocellulose). Von den bisher analysirten Präparaten, welche sich wohl nur auf zwei bestimmt charakterisirte Verbindungen, die Binitrocellulose und Trinitrocellulose zurückführen lassen, enthält die letztere den meisten Sauerstoff. Aus ihrer empirischen Formel $C_{12} H_7 N_3 O_{22}$, ist ersichtlich, daß der Sauerstoff bei der Explosion nicht ausreicht, um den Kohlenstoff in Kohlensäure und den Wasserstoff in Wasser zu verwandeln. Die zu den Versuchen von v. Károlyi[1]) dienende Schießwolle besaß die chemische Formel $C_{24} H_{17} N_5 O_{38}$ und war augenscheinlich ein Gemenge der beiden oben genannten Verbindungen. Ihr Gehalt an Sauerstoff reichte nicht einmal aus, um den Wasserstoff in Wasser und den Kohlenstoff in Kohlenoxyd zu verwan-

1) l. c. S. 65,

deln. Die unter verschiedenen Bedingungen bei ihrer Explosion erhaltenen Verbrennungsprodukte, deren Zusammenstellung sich auf Seite 240 befindet, sind daher reich an brennbaren Gasen cc. 40 pC., und unter ihnen 28,95 pC. Kohlenoxyd. Die Verbrennung der Schießwolle ist daher nichts weniger als vollkommen, auch ihre Verbrennungs-Temperatur ist nicht so hoch, und daher ihre Wirkung nicht so bedeutend, als sie dieß bei vollständiger Oxydation ihrer Verbrennungs-Produkte sein würde. Dieser, durch die geringere Temperatur bedingte Verlust an Arbeitskraft wird jedoch mehr als aufgewogen durch den Umstand, daß die Schießwolle ohne jeden Rückstand verbrennt. Es geht daher keine Wärme nach dieser Richtung hin verloren, sondern es wird ein größeres Maaß derselben zur Ausdehnung der Verbrennungsgase verbraucht.

Um die vollständige Oxydation der Schießwolle herbeizuführen hat Combes[1]) vorgeschlagen, 500 gr. derselben mit 400 gr. chlorsaurem Kali, ein Aequivalent der ersteren auf zwei Aequivalente des letzteren, oder der gleichen Menge Salpeter zu mengen. Dadurch wird die Wirkung bedeutend verstärkt, so daß das Gemenge dann etwa den gleichen Effect zeigt wie ein ihm gleiches Gewicht an reiner Schießwolle oder wie ein 3½ mal so großes Gewicht an Schießpulver. Es wird dieß leicht erklärlich, da der in dem chlorsaurem Kali zugeführte Sauerstoff nun ausreicht, um die vollständige Oxydation der Schießwolle zu Kohlensäure und Wasser vollenden zu helfen.

Auf der Wirkung derselben Stoffe beruht, so weit dies bekannt ist, das sogenannte weiße Schieß- und Sprengpulver von E. Schultze. Dieses Präparat besteht aus fein gekörnten und entsprechend gereinigten Holz, welches ganz analog der Darstellung der Schießwolle durch ein Gemisch von rauchender Salpetersäure und Schwefelsäure in Pyroxylin verwandelt und dann mit einer Lösung von salpetersaurem Kali und Baryt durchtränkt und getrocknet ist. Auch hier vermittelt und ergänzt der Sauerstoff der zugesetzten Salze die mehr oder weniger vollständige Verbrennung des Pyroxylins. Analysen der gasigen Verbrennungs-Produkte beider Mischungen liegen nicht vor, aber der Theorie nach dürfte die Mischung von Combes bei der Explosion gar kein und das Pulver von Schultze nach den von dem Erfinder angegebenen Gewichtsverhältnissen beurtheilt, ungleich weniger Kohlenoxyd entwickeln als die Schießwolle.

1) Handwörterbuch der Chemie B. 6 S. 735.

Allen Anforderungen in dieser Richtung würde dagegen das Nobel'sche Sprengöl, Nitroglycerin (Trinitroglycerin oder salpetersaures Glycerhloxyd) entsprechen. Dieses in mehr als einer Beziehung interessante Präparat ist eine ölartige, gelbliche, in Wasser untersinkende und darin nicht lösliche Flüssigkeit von süß aromatischem Geschmack, welche bei niedriger Temperatur fest wird. Es läßt sich ohne Explosion anzünden und brennt dann ruhig ab. Dagegen explodirt es heftig durch einen Schlag mit dem Hammer, wobei sich jedoch die Explosion nicht auf die benachbarten, vom Hammer unberührten Theile fortsetzt. Dieß geschieht aber sofort, wenn im eingeschloßnen Raum durch Stoß oder Schlag, wie durch die von dem Patentträger construirten Zündpatronen, ein Druck auf dasselbe ausgeübt wird. Die Explosion erfolgt mit überaus großer Heftigkeit, weil die Zersetzung des Sprengöls durch seine ganze Masse sich augenblicklich vollzieht. Diese brisante Wirkung gestattet zwar nicht seine Anwendung in Geschützen, macht es aber vorzugsweise geeignet zu Sprengungen sowohl von festem, wie zerklüftetem Gestein und erdigen Massen. Seine explosive Kraft ist bei gleichem Gewicht 5—10 mal größer als jene des Schießpulvers und von ihrer Furchtbarkeit legen einige durch Unvorsichtigkeit herbeigeführte Explosionen, unter ihnen die am 3. September 1864 zu Stockholm erfolgte Zerstörung der Nobel'schen Fabrik, Zeugniß ab. Die Sprengversuche mit diesem neuen Material sind ebenso befriedigend ausgefallen, als seine bisherige praktische Verwendung im hohen Grade diesen Erwartungen entsprochen hat; sie ist bei der nöthigen Vorsicht weniger gefahrvoll, als jene des Pulvers.

Man verband zuerst die Wirkung des Pulvers mit jener des Sprengöls, indem man eine Zinkpatrone mit Kanonenpulver füllte und so viel Nitroglycerin hinzugoß als in den Zwischenräumen des Pulvers Platz fand. Die verstopfte Patrone wurde in dem Bohrloch mit Pulver umschüttet und in dieses der Zünder gesteckt[1]). Später wandte man das Nitroglycerin allein an, indem man es direct in das Bohrloch goß, lose verdämmte und durch den Zünder explodiren ließ. In beiden Formen würde das Sprengöl sich vorzüglich zu Minensprengungen eignen. Ich habe bereits im Jahre 1865 in meinem Bericht an die General-Inspection des Ingenieur-Corps auf das Nitroglycerin aufmerksam gemacht und dasselbe zu Sprengversuchen

1) Jahresbericht der Chemie von Will. 1864. S. 796.

in den Minen empfohlen. Aus der empirischen Formel des Nitroglycerins, $C_6 H_5 N_3 O_{18}$, ist ersichtlich, daß sein Sauerstoffgehalt mehr als ausreicht, um bei der Explosion den Kohlenstoff in Kohlensäure und den Wasserstoff in Wasser zu verwandeln. Eine Analyse seiner Verbrennungsgase ist noch nicht vorhanden, doch ist nach dem Resultat der Károli'schen Analyse der Schießwollgase zu urtheilen, bei der Explosion eine Kohlenoxydbildung durchaus nicht zu erwarten, vielmehr dürfte der Ueberschuß an Sauerstoff die Entstehung von Stickoxyd veranlassen. Es enthält also das Sprengöl noch disponiblen freien Sauerstoff, durch dessen Ausnutzung ebensowohl diese Stickoxydbildung vermieden, als die Explosivität anderer Sprengmittel gesteigert werden kann. Dieß ist der Fall bei der oben erwähnten Mischung von Schießpulver und Sprengöl, wo dieser disponible Sauerstoff des letzteren die vollständige Verbrennung der Bestandtheile des Schießpulvers herbeiführt. Durch eine richtige Abgleichung bei Verwendung ihrer Zusammensetzung nach bekannten Mengen von Sprengöl und Schießpulver ließ sich höchst wahrscheinlich ebensowohl das Kohlenoxyd wie das Stickoxyd vollständig aus den Minengasen entfernen. Mir sind die Erfahrungen unbekannt, welche man bei der Anwendung eines so gemischten Sprengmittels gemacht hat, ich glaube aber nicht zu irren, wenn ich meine, daß man das reine Sprengöl bei Felsensprengungen ꝛc. um deswillen vorgezogen hat, weil es bequemer ist, nur mit einer Substanz zu operiren, zumal wenn diese für sich allein eine so eminente Wirksamkeit entfaltet. Hier liegt die Sache insofern anders, als die Rücksicht auf die Beschaffenheit und Zusammensetzung der Verbrennungsgase bei der Wahl des Sprengmittels jedenfalls mit bestimmend sein muß. Ungefähr gleiche Volumina Geschützpulver und Sprengöl würden bei der Explosion nur Kohlensäure und Stickstoff als Verbrennungsgase geben.

Das gleiche Resultat läßt sich durch Mischung von Schießwolle und Sprengöl erzielen. Der zehnte Theil Schießwolle von der Zusammensetzung, wie sie v. Károlyi gefunden, dürfte auf einen Theil Sprengöl genügen, um die Zersetzungsprodukte des Gemisches auf Kohlensäure, Wasser und Stickstoff zu reduciren. Der Vortheil dieser Mischung würde also einmal darin bestehen, daß bei der Explosion absolut schädliche Gase nicht auftreten und die entstandene Kohlensäure durch

Absorptionsmittel leicht entfernt werden kann, dann aber wird, weil hier keine festen Verbrennungsprodukte entstehen, der Theil der Arbeitskraft des explosiven Gemisches, welcher beim Schießpulver auf die Erhitzung des festen Rückstands verwandt wird, auch hier ausschließlich der Ausdehnung der Gase zu Gute kommen und dadurch eine Steigerung der Explosivität erzielt werden. Das Sprengöl spielt hier dem Schießpulver und der Schießwolle gegenüber ganz dieselbe Rolle, wie der von Combes vorgeschlagene Zusatz von chlorsaurem Kali zur Schießwolle und der Gehalt von salpetersaurem Kali bei dem Schultze'schen Sprengpulver. Da die Theorie einen günstigen Erfolg in Aussicht stellt, so dürften Versuche im Großen sich dringend empfehlen. Bei einer Steigerung der Explosivität dieser Mischung gegenüber jener ihrer beiden Gemengtheile dürfte der Vortheil nicht hoch genug anzuschlagen sein, wenn dabei zu gleicher Zeit eine von Kohlenoxyd freie Minenatmosphäre gewonnen würde.

Wir haben früher gesehen, daß, wenn auch im Allgemeinen, doch nicht immer, ein größerer Gehalt des Schießpulvers an Kohle bei der Explosion unter Abschluß der Luft eine größere Menge von Kohlenoxyd in den Pulvergasen bedingt, die Menge dieses giftigen Gases in den Minen doch noch von einem anderen Factor, der anwesenden atmosphärischen Luft, abhängig ist. Sie wird die Grenze bilden, innerhalb welcher ein größerer oder kleinerer Gehalt des Pulvers an Kohle ohne Einfluß auf die Menge des entwickelten Kohlenoxyds sein wird. Auf Grund der früheren Erörterungen darf ich ferner daran erinnern, daß ein an Kohle reiches Minenpulver über diese Grenze hinaus zwar auch in den Minen eine größere Menge Kohlenoxyd bilden und damit die Gefahr der Einathmung der Minengase steigern wird, daß aber andererseits die größere Menge an brennbaren Gasen bei den späteren Explosionen wesentlich zur vollständigeren Verbrennung der später erzeugten Minengase beitragen und somit Nachtheile und Vortheile sich bald ausgleichen dürften. Das Gleiche gilt von den Sprengungen mit reiner Schießwolle. Da es aber selbstverständlich im Interesse der Mineure liegt, auch in den ersten Stadien ihrer Thätigkeit das Kohlenoxyd möglichst fern zu halten, so dürfte ein an Kohle ärmeres Pulver in dieser Beziehung allerdings den Vorzug ver-

dienen. Die Bildung des Kohlenoxyds kann auch vermindert und unter Umständen ganz verhindert werden durch Einschließen von größeren Quantitäten von Luft in die Pulverkammer, durch Anlage von Minen mit hohlen Kammern. Nach meiner Ansicht wird jedoch der Einfluß, welchen ein mehr oder weniger kohlereiches Pulver auf die Entwicklung des Kohlenoxyds ausübt, am vollständigsten durch Zusatz einer entsprechenden Menge Sprengöl paralysirt werden. In dieser Richtung angestellte Versuche werden sicher nicht ohne günstiges Resultat bleiben.

Wir werden daher bereits einen wesentlichen Erfolg in Betreff der Verhütung der Minenkrankheit erreicht, gewissermaßen das Uebel an der Wurzel angegriffen haben, wenn es uns gelingt, von Anfang an eine von Kohlenoxyd, Schwefelwasserstoff und Stickoxyd freie Minen-Atmosphäre zu schaffen. Da diese Möglichkeit, wie im Vorstehenden gezeigt worden ist, vorliegt, so würde eine zweite Aufgabe darin bestehen, die dann nur aus Kohlensäure und Stickstoff bestehenden Minengase entweder durch Ventilation mit atmosphärischer Luft so zu verdünnen, daß neben der für den Athmungsproceß nothwendigen Zufuhr von Sauerstoff, auch der hohe Partialdruck der Kohlensäure vermindert würde, oder aber durch geeignete Absorptionsmittel die Kohlensäure vollständig zu beseitigen.

Schon eine frühere Praxis, dann aber eine Anzahl neuerer Vorschläge hat versucht, das Uebel an dieser Stelle anzugreifen. Je nach den verschiedenen supponirten Hauptfactoren der Minenkrankheit waren die zu ihrer Verhütung vorgeschlagenen Mittel verschiedene. Wenn wir von dem, außer jedem Zusammenhang mit der Ursache der Minenkrankheit stehenden Aufhängen von in Essig getauchten Tüchern in den Gallerien absehen, so hat eine ältere Praxis in dem Bestreichen der Wände mit Kalkmilch günstige Resultate zu sehen geglaubt und damit gewiß einen, wenn auch nicht ausreichenden Theil der Kohlensäure in den Gallerien beseitigt. Der von Josephson[1]) und Rawitz zur Beseitigung des Schwefelwasserstoffs vorgeschlagene Eisenvitriol würde, aber nur in Verbindung mit gebrannten Kalk, diesen Zweck wohl erreichen lassen, doch ist der Gehalt an Schwefelwasserstoff nach meiner Urtersuchung zu gering, als daß seine Beseitigung zu gleicher Zeit jene der Minenkrankheit in sich schlösse.

1) l. c. S. 15.

Der an die Versuchs-Commission in Neisse gerichtete Vorschlag von Dr. Herzfeld, die schädlichen Gase durch Holzkohle wegzunehmen, basirt auf der richtigen Voraussetzung, daß die Holzkohle ein ganz vorzügliches Absorptionsmittel für alle Gase sei und daß man erwarten dürfe, sie werde diese Eigenschaft auch in den Minen nicht verläugnen. Dieß ist zwar richtig, doch würde die Kohle aus mehrfach erörterten Gründen vorzugsweise wohl nur Kohlensäure und Stickstoff absorbiren und das Kohlenoxyd nicht wesentlich vermindern, da das letztere immer nur seinem Partialdruck in den entwickelten Pulvergasen entsprechend absorbirt werden würde. Die Kohle wurde einmal, und zwar in zwei 6″ starken Lagen in der Verdämmung der Mine Nr. 18 angewandt. Nach dem Minen-Journal war nach abgegebenen Schuß die Luft hinter der Verdämmung durchaus gut und wird dieß der Wirkung der Kohle zugeschrieben. Die Lage der Mine auf dem westlichen Theil des Minengefechtfeldes läßt aber aus den auf Seite 271 u. ff. erörterten allgemeinen Gründen eine andere und wohl zutreffendere Erklärung zu. Entfernung der schädlichen Gase durch bloße Absorption ohne gleichzeitige chemische Bindung wird immer nur ein relatives Resultat geben und nie ein Gas vollständig und für immer beseitigen.

Während Herzfeld die schädlichen Gase, deren Zusammensetzung und Natur er als eine offne Frage betrachtet, durch das Absorptions-Vermögen der Kohle beseitigen will, wendet Scheidemann seine ganze Aufmerksamkeit nur der Entfernung des Kohlenoxyds zu.

Eine Auflösung von Kupferchlorür in Salzsäure oder Ammoniak absorbirt das Kohlenoxyd leicht und in großen Mengen, es verdankt dieser Eigenschaft seine Anwendung in der Gas-Analyse. Eine Anzahl Bestimmungen des Kohlenoxyds in meinen Analysen sind auf diese Weise ausgeführt worden. Mannigfache Schwierigkeiten dürften sich aber seiner Verwendung in den Minen entgegenstellen. Ganz abgesehen von dem Umstand, auf den ich schon in meinem Bericht an die General-Inspection aufmerksam gemacht habe, daß sich bei seiner Benutzung nothwendig saure oder ammoniakalische Dämpfe in den Gallerien verbreiten müssen, dürfte seine Wirksamkeit als Absorptionsmittel wesentlich dadurch beeinträchtigt werden, daß es bei seiner Vertheilung und seinem längerem Verweilen in der Verdämmung vor der Explosion unter dem Einfluß des atmosphärischen Sauerstoffs rasch in Kupferchlorid übergehen und damit seine Absorptionsfähigkeit für Kohlenoxyd verlieren würde.

Scheidemann[1]) schlägt nun ebenfalls das Kupferchlorür zur Absorption des Kohlenoxyds in den Minengasen vor. Sein Vorschlag beabsichtigt aber nicht die vollständige Beseitigung dieses Gases aus der Luft der Gallerien, sondern nur den Schutz des einzeln in der Gallerie vordringenden Mineurs. Er glaubt diesen durch einen eigends für diesen Zweck von ihm construirten Respirator zu erreichen, bei welchem die Athmungsluft zwei Reservoire passiren muß, von denen das erste größere mit Schwämmen angefüllt ist, welche mit einer salzsauren Lösung von Kupferchlorür getränkt sind und das zweite kleinere mit Kalkmilch getränkte Schwämme enthält, welche den Mineur gleichzeitig vor dem Einfluß der sauren Dämpfe der Kupferchlorürlösung und der Kohlensäure der Minengase schützen sollen. Das Ein- und Ausathmen geschieht durch ein eigenthümlich construirtes Mundstück mit zwei Durchbohrungen, von denen die für die Inspiration bestimmte durch einen Schlauch mit den beiden Reservoirs zusammenhängt, jene für die Exspiration dagegen unmittelbar nach außen führt. Die Zungenspitze des Mineurs ist das Ventil für die bei jedem Athemzuge abwechselnd zu schließenden Kanäle und eine mit dem Mundstück verbundene Nasenklemme vervollständigt den Apparat, welcher in einer ledernen Tasche um den Leib getragen wird. Ob dieser Respirations-Apparat, welcher weniger zur Ermöglichung des Arbeitens, als des raschen Vorgehens der Mineure zur Untersuchung der Wirkung einer unmittelbar vorangegangenen Explosion bestimmt scheint, schon Anwendung gefunden hat, weiß ich nicht. Eine Kritik seiner Einrichtung und seines Gebrauchs wird vorzugsweise der Praxis zu überlassen sein, doch will ich meine Bedenken nicht zurückhalten über die Gefahr, welche für den Mineur darin liegt, daß seine Zungenspitze als Ventil benutzt wird, daß man ihn nicht unabhängig von den Zufälligkeiten eines falschen Gebrauchs dieses Ventils macht, bei dessen unrichtiger Stellung in recht schlechter Luft schon einige Athemzüge genügen werden, um ihn zu betäuben und die Thätigkeit des lebendigen Ventils vollständig zu lähmen. Neben diesen Bedenken gegen die Construction des Apparats muß ich aber vom Standpunkt des Chemikers bemerken, daß eine saure und ammoniakalische Auflösung von Kupferchlorür mit gleicher Begierde Kohlenoxyd wie Sauerstoff aufnimmt — solche Lösungen sind längere Zeit hindurch zur Bestimmung des Sauerstoffs in der

---

1) l. c. S. 67 ff.

Luft benutzt worden — daß also beim Durchgang der Athmungsluft durch die mit Kupferchlorürlösung getränkten Schwämme dem Mineur auch ein Theil des nothwendigen Sauerstoffs entzogen werden wird. Geräth nun der Mineur gar in eine Atmosphäre, deren Zusammensetzung durch die Analysen 1—8 des Tableau ausgedrückt wird, so wird er sich mit dem Respirator bald in einer schlimmeren und gefährlicheren Lage befinden, als dieß ohne denselben der Fall gewesen wäre.

Wenn man daher unmittelbar nach der Explosion einer Mine den Umfang der erzielten Wirkung, die Größe des Explosionsherdes recognosciren will, so muß man den vordringenden Mineur so unabhängig von dem Einfluß der Minen-Atmosphäre machen, wie den Taucher vom Wasser, indem man ihm durch geeignete Apparate beständig frische atmosphärische Luft zuführt, eine Aufgabe, für welche unsere vorgeschrittene Technik auch in diesem speciellen Fall wohl bald die genügende Lösung finden wird.

Unter solchen Umständen ist von der Beseitigung des Kohlenoxyds durch chemische Mittel wenig Erfolg zu hoffen. Wenn wir daher nicht durch die Wahl geeigneter Sprengmittel die Bildung des Kohlenoxyds von vornherein zu vermeiden suchen, so werden wir die Entfernung desselben vorzugsweise der Thätigkeit der Ventilatoren überlassen müssen. Doch dürfte es uns im weiteren Verlauf des Minenkriegs indirect gelingen, gleichzeitig mit der Beseitigung der Kohlensäure auch jene des Kohlenoxyds zu befördern.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß Alkalien und alkalische Erden die Kohlensäure mit großer Begierde aufnehmen und chemisch binden. Alle quantitativen Bestimmungen der Kohlensäure beruhen auf diesem Verhalten, und die Wirkung der genannten Körper ist so vollkommen, daß, wenn sie in geeigneter Weise und in der nothwendigen Quantität mit der Kohlensäure zusammentreffen, keine Spur derselben ungebunden bleibt. Am kräftigsten wirkt ein zuerst von Graham angewandtes Gemisch von gleichen Theilen trocknem Kalkhydrat und fein gepulvertem Glaubersalz, wobei Aetznatron und Gyps sich bilden, aber auch unvermischtes Kalkhydrat wirkt kräftig, wenn es weder staubig trocken, noch sehr bemerkbar feucht ist. Um letzteres darzustellen übergießt man gut gebrannten Kalk nur mit so viel Wasser, daß er zu einem gleichmäßigen, wenig feuchten Pulver zerfällt, was bei geringer Uebung leicht gelingt. Bei der Anwendung dieser beiden Mittel werden durch die Absorption der Kohlensäure kohlensaure Salze ge-

bildet, welche nur durch stärkere Säuren oder, wie bei dem kohlensaurem Kalk, durch Glühhitze, zersetzt werden, während das Graham'sche Gemisch auch beim Glühen die Kohlensäure nicht abgiebt. Auch Schwefelwasserstoff wird von beiden Absorptionsmitteln gleich leicht aufgenommen.

Die Pulvergase enthalten cc. 50 pC. Kohlensäure und verbreiten sich bei Minensprengungen von dem Explosionsherde nach allen Seiten, also auch nach den Gallerien hin aus. Die Verdämmung und das Erdreich veranlassen dabei, wie bereits wiederholt und ausführlich erörtert worden ist, eine Scheidung der Gase, indem sie den größten Theil der Kohlensäure zurückhalten. Diese wird aber hier nicht chemisch, sondern lose gebunden, absorbirt. Jede Veränderung in dem Partialdruck der Kohlensäure in der benachbarten Atmosphäre wird ihren Einfluß auf die absorbirte Menge äußern. Im Bereich der Wirkungssphäre einer neuen Explosion wird sie ebensowohl durch deren Gase stets aufs Neue verdrängt werden, als sie der beständigen Wechselwirkung der nach dem Explosionsherd dringenden Luft unterworfen ist. Diese Wechselwirkung hört sofort auf, wenn es gelingt, die Kohlensäure in der Verdämmung und dem Erdreich chemisch zu binden. Dazu eignet sich nun vor Allem entweder die Graham'sche Mischung oder das nach obiger Angabe dargestellte Kalkhydrat, es wird nur darauf ankommen, diese Mischungen einmal in der ausreichenden Menge und dann so zu vertheilen, daß sie mit den Pulvergasen in allseitige Berührung kommen.

Die Berechnung ergiebt, daß cc. 40 Pfd. gebrannter Kalk mehr als ausreichen werden, um die ganze Menge der Kohlensäure zu binden, welche sich bei der Explosion von 150 Pfd. des in Neisse angewandten Sprengpulvers entwickelt, selbst wenn aller Kohlenstoff desselben zu Kohlensäure verbrennen sollte. Als ich vor anderthalb Jahren in meinem Bericht an die General-Inspection den Vorschlag der Anwendung des Kalks machte, wollte ich der Praxis die Entscheidung über die beste Art der Vertheilung in der Verdämmung überlassen, ob in Schichten zwischen dem Rasen und den Luftziegeln oder mit trocknem Sand gemengt in dicht gestellten Sandsäcken. Nach sorgfältiger Erwägung aller Verhältnisse erscheint es mir jetzt zweckmäßiger, um nicht zu sagen, allein richtig, die ganze Pulverkammer mit der entsprechenden und mit trocknem Sand gemengten Kalkmenge auszufüllen und den Pulvergasen

die Fortführung und Zerstreuung dieser Mischung in der Verdämmung und in dem benachbarten Erdreich zu überlassen. Nach dem, was wir über die Vorgänge bei der Explosion einer Quetschmine wissen, dürfen wir mit ziemlicher Sicherheit auf eine große Vertheilung des Gemisches im Explosionsherde der Mine durch die Pulvergase rechnen. Kohlensäure und Kalk werden sich im Augenblick der Explosion bei der hohen Temperatur nicht verbinden, wohl aber wird dieß später innerhalb des ganzen Explosionsherdes geschehen, und damit werden sich auch die Bedingungen für die spätere vollständige Verbrennung des Kohlenoxyds ungleich günstiger gestalten.

Auf diese Weise erfüllt die Anwendung des Kalkhydrats einen doppelten Zweck. Einmal wird dadurch ein dem Mineur schädliches Gas, cc. 50 Procent der Pulvergase, dauernd aus den Minengasen entfernt, indem an die Stelle einer losen Absorption der Kohlensäure durch die Verdämmung, in dem kohlensauren Kalk eine feste chemische Verbindung tritt. Andererseits aber bedingt die dauernde Entfernung eines Hauptbestandtheils der Pulvergase unmittelbar nach der Explosion einer Mine nothwendig ein lebhafteres Zurückströmen der atmosphärischen Luft nach dem Explosionsherde. Damit treten immer mehr die Bedingungen ein, unter denen sich durch die Vermischung der Luft mit den brennbaren Pulvergasen ein Gasgemenge bildet, welches, durch die nächste Explosion entzündet, die Kreise des Explosionsherdes immer weiter zieht und damit stets größere Mengen des vorhandenen Kohlenoxyds entfernt. Bei Sprengungen mit Schießwolle wird das Kalkhydrat unter denselben Verhältnissen seiner Anwendung ganz dieselbe Rolle spielen.

Bei Benutzung von sauerstoffreichen explosiven Mischungen, dem reinen oder mit Schießpulver oder Schießwolle gemischten Sprengöl oder der Mischung von Combes wird die Anwendung des Kalkhydrats oder der Graham'schen Mischung von der größten Bedeutung sein. In diesen Fällen werden bei richtiger Abgleichung des Sprengmaterials brennbare Gase ganz fehlen, es werden die Gase der Explosion nur aus Stickstoff und Kohlensäure, vielleicht unter zeitweiliger Bildung von Stickoxyd, bestehen. Der Rechnung nach sind die Explosionsgase des Sprengöls aus cc. zwei Theilen Kohlensäure und cc. einen Theil Stickstoff zusammengesetzt. Im Fall des Gelingens werden durch die Absorption der Kohlensäure vermittelst Kalkhydrat nicht weniger als zwei Drittel der Gase entfernt und sofort eine, soweit sich dieß jetzt

ohne Versuche im Großen übersehen läßt, von schädlichen Gasen freie Atmosphäre geschaffen. Etwa entstandenes Stickoxyd wird durch den Sauerstoff der eindringenden Luft in Untersalpetersäure verwandelt und diese dann ebenfalls vom Kalkhydrat chemisch gebunden.

Bei dieser weitgreifenden, nicht blos auf einen Bestandtheil der Pulvergase gerichteten Wirkung des Kalkhydrats oder der Graham-schen Mischung fällt noch ins Gewicht, daß der gebrannte Kalk überall und leicht zu beschaffen ist, daß er sich in gut schließenden Räumen vorräthig halten und daß man im Verlauf eines Minenkriegs weniger als die angegebenen Quantitäten brauchen wird, weil in dem feuchten Erdreich schließlich auch ein Theil der Kohlensäure durch Bildung von doppelt kohlensaurem Kalk verschwinden dürfte.

Wir dürfen uns wohl nicht darüber täuschen, daß, wenn nicht die Sprengung jeder neuen Quetschmine ein Correctiv für die, durch die vorhergehende Mine herbeigeführte Verschlechterung der Luft des durchschossenen Terrains wäre, wenn die Verdämmung nicht einen Theil der Pulvergase festhielte und endlich, wenn nicht durch die Sprengung der Trichter eine massenhafte Entleerung der irrespirablen Gase nach der Atmosphäre und dadurch ein Rückströmen normaler Luft veranlaßt würde: daß im Verlauf des Minenkriegs der Thätigkeit der Arbeiter trotz aller Anwendung künstlicher Absorptionsmittel sehr bald ein Ziel gesetzt sein würde. Wenn wir nun diesen Wirkungen und namentlich der Absorptionsfähigkeit des trocknen und feuchten Bodens darin zu Hülfe kommen, daß wir durch das Kalkhydrat 40—50 pC. der Pulvergase zu entfernen und dauernd zu fesseln suchen, wenn wir dadurch das Zurückströmen der atmosphärischen Luft nach dem Explosionsherde vermehren, die Entzündlichkeit und Verbrennlichkeit des nicht absorbirten Gasgemenges erhöhen und der Ventilation endlich eine einfachere Aufgabe stellen: so, glaube ich, ist unter den gegenwärtigen Verhältnissen, bei Anwendung des Schießpulvers zu den Sprengungen, ein großer Schritt vorwärts zur Beseitigung dieser ebenso sehr den Mineur belästigenden und hemmenden, als für den Angreifer und Vertheidiger verhängnißvollen Verhältnisse geschehen. Sollten künftige Versuche die von mir vorgeschlagene praktische Anwendbarkeit sauerstoffreicherer Sprengmittel ergeben, dann würde sich die Aufgabe der Ventilation bei Anwendung des Kalkhydrats noch einfacher gestalten.

Die Entfernung des Stickstoffs, eines für den Organismus völlig indifferenten Gases, für welchen wir geeignete Absorptionsmittel nicht

besitzen, fällt ausschließlich der Thätigkeit einer geregelten Ventilation zu, welche aber vorzugsweise die ungleich wichtigere Aufgabe zu lösen hat, das ganze Minensystem mit ausreichender, frischer Luft zu versehen.

Es liegt außerhalb der Aufgabe des Chemikers, an diesem Ort die beste Art und Weise der Ventilation für Minen zu discutiren oder eine Kritik der bis jetzt gebräuchlichen Ventilationsmittel zu üben, welche Manches zu wünschen übrig lassen, es kann hier nur auf die reiche Literatur über Ventilation bewohnter und unbewohnter Räume, von Bergwerken, Tunnels ꝛc. hingewiesen werden, um so mehr als vorausgesetzt werden darf, daß dieser Gegenstand von anderer, competenter Seite eingehend behandelt werden wird. Es ist nicht daran zu zweifeln, daß die reichen Erfahrungen der Industrie auf diesem Gebiet auch dem Ventilations-System der Minen jene Verbesserungen zuführen werden, welche Hand in Hand mit den einfachen Mitteln, welche uns die Chemie zur Beseitigung der schädlichen Minengase bietet, dem Mineur ein rasches Vorgehen und Ausnützen der gewonnenen Vortheile sichern werden. Schon jetzt dürfte es den Mineuren eine nicht geringe Beruhigung gewähren, daß sie nach wiederholten Sprengungen ihre Arbeiten nicht gradezu in einer giftigen Atmosphäre fortzusetzen brauchen.

Wie die Besprechung und Verbesserung des Ventilationssystems der Minen Sache der Technik ist, so ist die Behandlung der Minenkrankheit, welche übrigens eine sehr einfache zu sein scheint, und die Prophylaxis, insofern sie bemüht ist, den Körper der Mineure widerstandsfähiger gegen die Einwirkung der Minengase zu machen, eine so ausschließliche Aufgabe des Arztes, daß ich hier in Bezug darauf nur auf die beiden vielfach citirten Abhandlungen von Josephson und Scheidemann verweisen will.

---

Den im December 1865 an die General-Inspection des Ingenieur-Corps erstatteten Bericht schloß ich mit den Worten, daß ich „meine Untersuchung als den ersten Versuch der Behandlung eines Problems ansähe, dessen vollständige Lösung nur durch die gemeinsame Arbeit der Wissenschaft und Praxis erfolgen könne. Ich nehme meiner Untersuchung gegenüber auch heute noch denselben Standpunkt ein.

Die Chemie ist zum erstenmal zur experimentellen Beantwortung der Frage nach der Ursache der Minenkrankheit herangezogen worden. Es ist klar, daß die nur einmalige Beobachtung so complicirter Verhältnisse, wie sie ein 14 Tage fortgesetzter Minenkrieg bietet, zwar genügende Einsicht in den Verlauf der chemischen und physikalischen Processe und die nothwendigen Anhaltspunkte für die Beurtheilung des Zusammenhangs der Minenkrankheit mit der chemischen Natur der Minengase gewähren kann, aber ebenso klar, daß nur fortgesetzte Beobachtungen und namentlich die genaue statistische Feststellung aller in diesen Beobachtungen enthaltenen einzelnen Momente die vorliegende Frage zum vollen Abschluß bringen können. Die gegenwärtige Untersuchung ist vielleicht nur als eine glückliche Recognoscirung gegen einen Feind anzusehen, welcher erst auf Grund der dabei gemachten Beobachtungen und Erfahrungen mit besserem Erfolge als bisher wird angegriffen werden können, um später vielleicht vollständig aus dem Felde geschlagen zu werden. Die zu diesem Zweck gemachten Vorschläge fußen auf wissenschaftlich begründeten Thatsachen und sind der Theorie nach wahrscheinlich unangreifbar. Die Prüfung ihrer praktischen Brauchbarkeit entzieht sich jedoch den Grenzen eines chemischen Laboratoriums, sie ist nur möglich durch die Anlage besonderer Versuchsminen und auf dem Minengefechtsfelde einer größeren Belagerungsübung. Hier werden dieselben sich erst zu bewähren haben, und so zuversichtlich ich dieß auch erwarte, so verhehle ich mir doch auch nicht, daß diese erwarteten Erfolge in mancherlei Beziehungen durch Verhältnisse beeinträchtigt werden könnten, welche bei der gegenwärtigen Untersuchung sich der Beobachtung entzogen haben oder sich bei einem Minenkriege am anderen Ort erst neu bilden können. Bei den hier nach allen Richtungen hin sich durchkreuzenden Fäden der wirkenden Ursachen werden, trotz aller Durchsichtigkeit der gewonnenen wissenschaftlichen Grundlage, nur wiederholte und vielseitige Beobachtungen zu brauchbaren praktischen Resultaten führen können. Es wird bei neuen Versuchen aber nothwendig sein, nach einem ganz bestimmten festen Plan zu verfahren, bei dessen Durchführung der Ingenieur, der Arzt und der Chemiker sich zu gemeinsamer Thätigkeit vereinigen müssen. Es werden dabei, nach meiner Ansicht, nachstehende Gesichtspunkte fest gehalten werden müssen.

Unter beständiger Benutzung und Vergleichung des Minenplans wird gemeinsam festzustellen und einzuhalten sein:

1) Die Reihenfolge der Explosionen mit genauer Angabe der Zeit und des Orts, sowie der Größe und Beschaffenheit der Ladung. Dieser Bedingung genügt bereits das Minen-Journal.

2) Genaue Angabe der Richtungen, nach welchen hin ventilirt wird und des Ortes, bis wohin die Ventilatorröhren reichen.

3) Ob die Gallerien und gesprengten Têten unmittelbar nach der Explosion zugänglich waren oder ob es dazu länger fortgesetzter Ventilation bedurfte.

4) Genaue Angabe der Zeit und des Orts der Erkrankung (Gallerie, Rameau, Ecoute) und der bis zu derselben verfloßnen Arbeitszeit der erkrankten Mineure.

5) Genaue Registrirung des Krankheitsbildes und Versuch des Nachweises von eingeathmeten Kohlenoxyds durch chemische und physikalische Hülfsmittel.

6) Das Rohr des Ventilators wird nur mit Vorsicht zum Aufsammeln der Gase zu benutzen sein, wenigstens nur dann, wenn genau bekannt ist, wo sein Ende mündet.

7) Es dürfte weit zweckmäßiger sein, das Sammelrohr des Aspirators vor der Explosion entweder unmittelbar vor der Verdämmung aufzustellen oder in geeigneter Weise gradezu in dieselbe hineinragen zu lassen.

8) Bei Anwendung und Prüfung der neu empfohlenen Spreng- und Absorptionsmittel dürfte das Gasleitungsrohr, wie bei der Versuchsmine, am besten bis in die Pulverkammer reichen.

9) Wiederholte Untersuchung des verschiedenen Verdämmungs-Materials und des Erdbodens auf seinen Gasgehalt in möglichst kürzester Zeit nach der Explosion einer Quetschmine.

Es wird nicht schwer sein, dieses Programm in geeigneter Weise zu ergänzen und zu modificiren, immer aber wird bei der hier nothwendigen Theilung der Arbeit, doch nur die sich gegenseitig beständig controllirende und ergänzende gemeinsame Thätigkeit des Ingenieurs, des Arztes und des Chemikers die wissenschaftlichen Resultate ergeben, welche zur Verminderung und im großen Ganzen vielleicht zur vollständigen Beseitigung der Minenkrankheit führen können.

Neisse. Druck von A. Letzel.

## alysen.

**Während des Min**

| | 10. | 11. | 12. |
|---|---|---|---|
| Zu in | 18/8. 65. aus dem Ventilator. | 21/8. 65. aus dem Ventilator. | 24/8. 6 aus de Ventilat |
| | — | 1,31 | 0,30 |
| | — | — | 0,40 |
| | — | — | — |
| | — | — | — |
| | — | — | — |
| | 20,45 | 19,93 | 19,3 |
| | 79,55 | 78,76 | 79,9 |
| | 100,00 | 100,00 | 100,0 |

on u. gezeichnet durch die Pr.

Herrfahrdt der 2^ten^ und Eckert à la suite der 1^ten^ } e

I.

